

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI
KATIHAL FİZİĞİ BİLİM DALI**

**YAYA TAHLİYE SÜRECİNİN KARINCA ALGORİTMASI
KULLANILARAK İNCELENMESİ**

Sibel GÖKÇE

**Danışman
Doç. Dr. Ahmet ÇETİN**

**II. Danışman
Doç. Dr. Rana KİBAR**



MANİSA-2017

**Sibel
GÖKÇE**

**YAYA TAHLİYE SÜRECİNİN KARINCA ALGORİTMASI KULLANILARAK
İNCELENMESİ**

2017

TEZ ONAYI

Sibel GÖKÇE tarafından hazırlanan "**Yaya Tahliye Sürecinin Karınca Algoritması Kullanılarak İncelenmesi**" adlı tez çalışması 04/07/2017 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Fizik Anabilim Dalı**'nda **DOKTORA TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Doç. Dr. Ahmet ÇETİN
Manisa Celal Bayar Üniversitesi



II. Danışman

Doç. Dr. Rana KİBAR
Manisa Celal Bayar Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Halil BABACAN
Manisa Celal Bayar Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Murat ODUNCUOĞLU
Gaziantep Üniversitesi



Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Tarık KUNDURACI
Manisa Celal Bayar Üniversitesi



Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Hümeysra ÖRÜCÜ
Ege Üniversitesi



TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Sibel GÖKÇE



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	III
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IV
TABLO DİZİNİ	VIII
TEŞEKKÜR.....	IX
ÖZET.....	X
ABSTRACT.....	XI
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Özeti	3
1.2. Tezin Amacı	9
2. GENEL BİLGİLER	10
2.1. Komplekslik	10
2.1.1. Kompleks Sistem Örnekleri.....	11
2.1.1.1. Böcek Kolonileri	11
2.1.1.2. Beyin	12
2.1.1.3. Bağışıklık Sistemi	13
2.1.1.4. Ekonomiler	14
2.1.1.5. Dünya Çapında Ağ (www)	14
2.1.2. Kompleks Sistemlerin Genel Özellikleri	15
2.2. Hücresel Otomasyon	15
2.2.1. Hücresel Otomasyonun Keşfedilmesi.....	17
2.2.2. Hücresel Otomasyon Tanımı	21
2.2.2.1. Komşuluk	22
2.2.2.2. Sınır Koşulları	23
2.3. Karınca Algoritması	24
3. MATERYAL VE YÖNTEM	30
3.1. Materyal.....	30
3.1.1. Kullanılan Programlama Dili.....	30
3.1.2. Grafik Programı	30
3.2. Yöntem	31
3.2.1. Hücre Durumu	31
3.2.2. Zemin Alanı Modeli	31
3.2.3. Komşuluk.....	34
3.2.4. Yaya Hareketi	34
3.2.5. Ateşin Konumlandırılması.....	36
3.2.6. Dumanın Hareketi.....	37
3.2.7. Çıkış Kapısı Civarına Konulacak Engeller	38
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	39
4.1. Duman veya Ateşin Olmadığı Herhangi Bir Acil Durum	40
4.1.1. Feromon Hormonunun Buharlaşıma Oranının Tahliye Üzerindeki Etkisi	40
4.1.2. Engelin Var Olduğu Bir Durumda Engelin Boyunun, Yerinin ve Şeklinin Tahliye Üzerindeki Etkisi	42
4.1.3. Çıkış Kapısının Yerinin ve Büyüklüğünün Tahliye Üzerindeki Etkisi	67
4.2. Herhangi Bir Sebepçe Çıkmış Olan Bir Yangın Durumunda, Ortamda Sadece Dumanın Bulunduğu ve Duman Sebebiyle Görüşün Sınırlı Olduğu Acil Durum	77
4.2.1. Duman Yoğunluğunun Az Olduğu Durum.....	78
4.2.2. Orta Yoğunlukta Dumanın Var Olduğu Durum	79

4.2.3. Duman Yoğunluğunun Çok Olduğu Durum.....	80
4.3. Ateşin ve Dumanın Aynı Anda Ortamda Bulunduğu Acil Durum	81
4.3.1. Ateşin Lokal Olarak Kaldığı (Yayılmadığı) Durum.....	81
4.3.2. Ateşin Ortama Yayıldığı Durum.....	87
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	90
KAYNAKLAR	92
EKLER.....	99
EK A. Manhattan Metoduyla Hesaplanan Statik Zemin Alanı Değeri (Altı Birim Uzunluğunda Engelin Var Olduğu Durum)	99
EK B. Manhattan Metoduyla Hesaplanan Statik Zemin Alanı Değeri (Sekiz Birim Uzunluğunda Engelin Var Olduğu Durum)	100
EK C. Manhattan Metoduyla Hesaplanan Statik Zemin Alanı Değeri (On Birim Uzunluğunda Engelin Var Olduğu Durum)	101
EK D. Manhattan Metoduyla Hesaplanan Statik Zemin Alanı Değeri (On İki Birim Uzunluğunda Engelin Var Olduğu Durum)	102
EK E. Manhattan Metoduyla Hesaplanan Statik Zemin Alanı Değeri (Engel-Kapı Mesafesinin İki Birim Hücre Olduğu Durum)	103
EK F. Manhattan Metoduyla Hesaplanan Statik Zemin Alanı Değeri (Engel-Kapı Mesafesinin Üç Birim Hücre Olduğu Durum)	104
EK G. Manhattan Metoduyla Hesaplanan Statik Zemin Alanı Değeri (Engel-Kapı Mesafesinin Dört Birim Hücre Olduğu Durum)	105
EK H. Manhattan Metoduyla Hesaplanan Statik Zemin Alanı Değeri (Asimetrik Bir Engelin Var Olduğu Durum).....	106
EK I. Manhattan Metoduyla Hesaplanan Statik Zemin Alanı Değeri (Simetrik Bir Engelin Var Olduğu Durum)	107
EK K. Manhattan Metoduyla Hesaplanan Statik Zemin Alanı Değeri (Engelin Olmadığı Durum)	108
ÖZGEÇMİŞ	109

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ACO	Ant Colony Optimization (Karıncı Kolonisi Optimizasyonu)
DNA	Deoksiribonükleik asit
TSP	Travelling Salesman Problem (Gezgin Satıcı Problemi)



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. İnsanların hareket mesafelerini kısaltacak rotaları tercih etmesi	2
Şekil 2.1. Karıncaların inşa ettiği geçici barınak	10
Şekil 2.2. Karıncaların vücutlarıyla kurduğu köprü.....	11
Şekil 2.3. Nöronlar	12
Şekil 2.4. Bağışıklık sisteminin kanser hücresine saldırması	13
Şekil 2.5. Dünya internet ağı haritası	14
Şekil 2.6. Hücresel otomasyon örneği: Hücrelerin her birinin en yakın hücrelerle bağlantılı olması.....	15
Şekil 2.7. Hücresel otomasyon örneği: Hücre güncelleme kuralının tüm hücreler için özdeş olması.....	16
Şekil 2.8. 'Game of Life' modelinin ilk üç adımının örnek gösterimi.....	19
Şekil 2.9. Wolfram'ın hücresel otomasyon modelinin bir örneği.....	20
Şekil 2.10. Komşuluklar: (a) Von Neumann komşuluğu (b) Moore komşuluğu.....	22
Şekil 2.11. Margolus komşuluğu	23
Şekil 2.12. Sınır koşulları; (a) Sabit, (b) Periyodik, (c) Adyabatik, (d) Yansıyan sınır koşulu	24
Şekil 2.13. Engelle karşılaşan karıncaların yeni güzergah seçimi	25
Şekil 2.14. Karıncaların kısa yolu bulmaları.....	25
Şekil 2.15. Örnek bir TSP ve çözümü.....	26
Şekil 2.16. Karınca algoritmasında feromon buharlaşmasının konfigürasyon gösterim şeması.....	28
Şekil 3.1. Gnuplot programı ekran örneği.....	30
Şekil 3.2. (20x20) birim hücre büyüklüğündeki bir oda	31
Şekil 3.3. Hedef hücre	36
Şekil 3.4. Bir kum yığını modelinin (sandpile model) aşamaları	38
Şekil 4.1. $f=0.1$ için yaya sayısının 120 olduğu anlık durum görüntüsü (a)t=0, (b)t=4, (c)t=8, (d)t=12, (e)t=16, (f)t=20, (g)t=24, (h)t=28, (i)t=32	40
Şekil 4.2. (20x20) birim hücre büyüklüğünde iki birim hücrelik tek çıkışlı odanın şematik gösterimi	41
Şekil 4.3. Feromon buharlaşma oranındaki değişimin tahliye üzerindeki etkisi	41
Şekil 4.4. $f=0.1$ için yaya sayısının 120 olduğu, kapıya bir birim uzaklıkta altı birim uzunluğunda bir engelin var olduğu bir tahliye sürecinin anlık durum görüntüsü (a)t=0, (b)t=4, (c)t=8, (d)t=12, (e)t=16, (f)t=20, (g)t=24, (h)t=28, (i)t=32.....	42
Şekil 4.5. (20x20) birim hücre büyüklüğünde, kapıya bir birim uzaklıkta altı birim uzunluğunda bir engelin var olduğu, iki birim hücrelik tek çıkışlı odanın şematik gösterimi.....	43
Şekil 4.6. Feromon buharlaşma oranındaki değişimin kapıya bir birim uzaklıkta altı birim uzunluğunda bir engelin var olduğu durumda tahliye süresi üzerindeki etkisi.....	43
Şekil 4.7. $f=0.1$ için yaya sayısının 120 olduğu, kapıya bir birim uzaklıkta sekiz birim uzunluğunda bir engelin var olduğu bir tahliye sürecinin anlık durum görüntüsü (a)t=0, (b)t=4, (c)t=8, (d)t=12, (e)t=16, (f)t=20, (g)t=24, (h)t=28, (i)t=32	44
Şekil 4.8. (20x20) birim hücre büyüklüğünde, kapıya bir birim uzaklıkta sekiz birim uzunluğunda bir engelin var olduğu, iki birim hücrelik tek çıkışlı odanın şematik gösterimi.....	45
Şekil 4.9. Feromon buharlaşma oranındaki değişimin kapıya bir birim uzaklıkta sekiz birim uzunluğunda bir engelin var olduğu durumda tahliye süresi üzerindeki etkisi.....	45

Şekil 4.10. $f=0.1$ için yaya sayısının 120 olduğu, kapıya bir birim uzaklıkta on birim uzunluğunda bir engelin var olduğu bir tahliye sürecinin anlık durum görüntüsü (a)t=0, (b)t=4, (c)t=8, (d)t=12, (e)t=16, (f)t=20, (g)t=24, (h)t=28, (i)t=32.....	46
Şekil 4.11. (20x20) birim hücre büyüklüğünde, kapıya bir birim uzaklıkta on birim uzunluğunda bir engelin var olduğu, iki birim hücrelik tek çıkışlı odanın şematik gösterimi.....	47
Şekil 4.12. Feromon buharlaşma oranındaki değişimin kapıya bir birim uzaklıkta on birim uzunluğunda bir engelin var olduğu durumda tahliye süresi üzerindeki etkisi.	47
Şekil 4.13. $f=0.1$ için yaya sayısının 120 olduğu, kapıya bir birim uzaklıkta on iki birim uzunluğunda bir engelin var olduğu bir tahliye sürecinin anlık durum görüntüsü (a)t=0, (b)t=4, (c)t=8, (d)t=12, (e)t=16, (f)t=20, (g)t=24, (h)t=28, (i)t=32	48
Şekil 4.14. (20x20) birim hücre büyüklüğünde, kapıya bir birim uzaklıkta on iki birim uzunluğunda bir engelin var olduğu, iki birim hücrelik tek çıkışlı odanın şematik gösterimi	49
Şekil 4.15. Feromon buharlaşma oranındaki değişimin kapıya bir birim uzaklıkta on iki birim uzunluğunda bir engelin var olduğu durumda tahliye süresi üzerindeki etkisi	49
Şekil 4.16. Odada var olan engelin boyunun tahliye süresi üzerindeki etkisi.....	50
Şekil 4.17. $f=0.1$ için yaya sayısının 120 olduğu, kapıya bir birim uzaklıkta sekiz birim uzunluğunda bir engelin var olduğu bir tahliye sürecinin anlık durum görüntüsü (a)t=0, (b)t=4, (c)t=8, (d)t=12, (e)t=16, (f)t=20, (g)t=24, (h)t=28, (i)t=32	51
Şekil 4.18. (20x20) birim hücre büyüklüğünde, kapıya bir birim uzaklıkta sekiz birim uzunluğunda bir engelin var olduğu, iki birim hücrelik tek çıkışlı odanın şematik gösterimi.....	52
Şekil 4.19. Feromon buharlaşma oranındaki değişimin kapıya bir birim uzaklıkta sekiz birim uzunluğunda bir engelin var olduğu durumda tahliye süresi üzerindeki etkisi.....	52
Şekil 4.20. $f=0.1$ için yaya sayısının 120 olduğu, kapıya iki birim uzaklıkta sekiz birim uzunluğunda bir engelin var olduğu bir tahliye sürecinin anlık durum görüntüsü (a)t=0, (b)t=4, (c)t=8, (d)t=12, (e)t=16, (f)t=20, (g)t=24, (h)t=28, (i)t=32	53
Şekil 4.21. (20x20) birim hücre büyüklüğünde, kapıya iki birim uzaklıkta sekiz birim uzunluğunda bir engelin var olduğu, iki birim hücrelik tek çıkışlı odanın şematik gösterimi.....	54
Şekil 4.22. Feromon buharlaşma oranındaki değişimin kapıya iki birim uzaklıkta sekiz birim uzunluğunda bir engelin var olduğu durumda tahliye süresi üzerindeki etkisi.....	54
Şekil 4.23. $f=0.1$ için yaya sayısının 120 olduğu, kapıya üç birim uzaklıkta sekiz birim uzunluğunda bir engelin var olduğu bir tahliye sürecinin anlık durum görüntüsü (a)t=0, (b)t=4, (c)t=8, (d)t=12, (e)t=16, (f)t=20, (g)t=24, (h)t=28, (i)t=32	55
Şekil 4.24. (20x20) birim hücre büyüklüğünde, kapıya üç birim uzaklıkta sekiz birim uzunluğunda bir engelin var olduğu, iki birim hücrelik tek çıkışlı odanın şematik gösterimi.....	56
Şekil 4.25. Feromon buharlaşma oranındaki değişimin kapıya üç birim uzaklıkta sekiz birim uzunluğunda bir engelin var olduğu durumda tahliye süresi üzerindeki etkisi.....	56

Şekil 4.26. $f=0.1$ için yaya sayısının 120 olduğu, kapıya dört birim uzaklıkta sekiz birim uzunluğunda bir engelin var olduğu bir tahliye sürecinin anlık durum görüntüsü (a)t=0, (b)t=4, (c)t=8, (d)t=12, (e)t=16, (f)t=20, (g)t=24, (h)t=28, (i)t=32	57
Şekil 4.27. (20x20) birim hücre büyüklüğünde, kapıya dört birim uzaklıkta sekiz birim uzunluğunda bir engelin var olduğu, iki birim hücrelik tek çıkışlı odanın şematik gösterimi	58
Şekil 4.28. Feromon buharlaşma oranındaki değişimin kapıya dört birim uzaklıkta sekiz birim uzunluğunda bir engelin var olduğu durumda tahliye süresi üzerindeki etkisi	58
Şekil 4.29. Odada var olan engelin kapıya olan uzaklığının tahliye süresi üzerindeki etkisi	59
Şekil 4.30. $f=0.1$ için yaya sayısının 120 olduğu, asimetric bir engelin varlığında tahliye sürecinin anlık durum görüntüsü (a)t=0, (b)t=4, (c)t=8, (d)t=12, (e)t=16, (f)t=20, (g)t=24, (h)t=28, (i)t=32	60
Şekil 4.31. (20x20) birim hücre büyüklüğünde asimetric bir engelin var olduğu iki birim hücrelik tek çıkışlı odanın şematik gösterimi	61
Şekil 4.32. Feromon buharlaşma oranındaki değişimin asimetric bir engelin var olduğu durumda tahliye süresi üzerindeki etkisi	61
Şekil 4.33. $f=0.1$ için yaya sayısının 120 olduğu, simetrik bir engelin varlığında tahliye sürecinin anlık durum görüntüsü (a)t=0, (b)t=4, (c)t=8, (d)t=12, (e)t=16, (f)t=20, (g)t=24, (h)t=28, (i)t=32	62
Şekil 4.34. (20x20) birim hücre büyüklüğünde simetrik bir engelin var olduğu iki birim hücrelik tek çıkışlı odanın şematik gösterimi	63
Şekil 4.35. Feromon buharlaşma oranındaki değişimin simetrik bir engelin var olduğu durumda tahliye süresi üzerindeki etkisi	63
Şekil 4.36. $f=0.1$ için yaya sayısının 120 olduğu, ortamda herhangi bir engelin mevcut olmadığı tahliye sürecinin anlık durum görüntüsü (a)t=0, (b)t=4, (c)t=8, (d)t=12, (e)t=16, (f)t=20, (g)t=24, (h)t=28, (i)t=32	64
Şekil 4.37. (20x20) birim hücre büyüklüğünde iki birim hücrelik tek çıkışlı odanın şematik gösterimi	65
Şekil 4.38. Feromon buharlaşma oranındaki değişimin herhangi bir engelin mevcut olmadığı durumda tahliye süresi üzerindeki etkisi	65
Şekil 4.39. Odada var olan engelin şeklinin tahliye süresi üzerindeki etkisi	66
Şekil 4.40. $f=0.1$ için yaya sayısının 120 olduğu, birbirinden dört birim hücre uzaklığında birer birim hücrelik iki çıkışlı odadan tahliyenin anlık durum görüntüsü (a)t=0, (b)t=4, (c)t=8, (d)t=12, (e)t=16, (f)t=20, (g)t=24, (h)t=28, (i)t=32	67
Şekil 4.41. (20x20) birim hücre büyüklüğünde birbirinden dört birim hücre uzaklığında birer birim hücrelik iki çıkışlı odanın şematik gösterimi	68
Şekil 4.42. Feromon buharlaşma oranındaki değişimin birbirinden dört birim hücre uzaklığında birer birim hücrelik iki çıkışın var olduğu bir durumda tahliye süresi üzerindeki etkisi	68
Şekil 4.43. $f=0.1$ için yaya sayısının 120 olduğu, birbirinden sekiz birim hücre uzaklığında birer birim hücrelik iki çıkışlı odadan tahliyenin anlık durum görüntüsü (a)t=0, (b)t=4, (c)t=8, (d)t=12, (e)t=16, (f)t=20, (g)t=24, (h)t=28, (i)t=32	69
Şekil 4.44. (20x20) birim hücre büyüklüğünde birbirinden sekiz birim hücre uzaklığında birer birim hücrelik iki çıkışlı odanın şematik gösterimi	70
Şekil 4.45. Feromon buharlaşma oranındaki değişimin birbirinden sekiz birim hücre uzaklığında birer birim hücrelik iki çıkışın var olduğu bir durumda tahliye süresi üzerindeki etkisi	70

Şekil 4.46. $f=0.1$ için yaya sayısının 120 olduğu, birbirinden on altı birim hücre uzaklığında birer birim hücrelik iki çıkışlı odadan tahliyenin anlık durum görüntüsü (a)t=0, (b)t=4, (c)t=8, (d)t=12, (e)t=16, (f)t=20, (g)t=24, (h)t=28, (i)t=32.....	71
Şekil 4.47. (20x20) birim hücre büyüklüğünde birbirinden on altı birim hücre uzaklığında birer birim hücrelik iki çıkışlı odanın şematik gösterimi	72
Şekil 4.48. Feromon buharlaşma oranındaki değişimin birbirinden on altı birim hücre uzaklığında birer birim hücrelik iki çıkışın var olduğu bir durumda tahliye süresi üzerindeki etkisi	72
Şekil 4.49. Çıkış kapıları arasındaki mesafenin tahliye süresi üzerindeki etkisi	73
Şekil 4.50. $f=0.1$ için yaya sayısının 120 olduğu, iki ayrı duvarda konumlandırılmış birer birim hücrelik iki çıkışlı odadan tahliyenin anlık durum görüntüsü (a)t=0, (b)t=4, (c)t=8, (d)t=12, (e)t=16, (f)t=20, (g)t=24, (h)t=28, (i)t=32	74
Şekil 4.51. (20x20) birim hücre büyüklüğünde iki ayrı duvarda konumlandırılmış birer birim hücrelik iki çıkışlı odanın şematik gösterimi	75
Şekil 4.52. Feromon buharlaşma oranındaki değişimin iki ayrı duvarda konumlandırılmış birer birim hücrelik iki çıkışın var olduğu bir durumda tahliye süresi üzerindeki etkisi.....	75
Şekil 4.53. Farklı çıkış kapılarının tahliye süresi üzerindeki etkisi	76
Şekil 4.54. Duman yoğunluğu az olduğunda odadaki dumanın kapıya doğru olan hareketinin anlık durum görüntüsü (a)t=0, (b)t=20, (c)t=40, (d)t=60.....	77
Şekil 4.55. Duman yoğunluğunun az olduğu durumda feromon buharlaşma oranındaki değişimin tahliye süresi üzerindeki etkisi	78
Şekil 4.56. Orta yoğunlukta dumanın var olduğu durumda feromon buharlaşma oranındaki değişimin tahliye süresi üzerindeki etkisi	79
Şekil 4.57. Duman yoğunluğunun çok olduğu durumda feromon buharlaşma oranındaki değişimin tahliye süresi üzerindeki etkisi	80
Şekil 4.58. $f=0.1$ için yaya sayısının 120 olduğu, ateşin kuzey tarafındaki duvarda kapının sol kısmında bulunduğu tahliye sürecinin anlık durum görüntüsü (a)t=0, (b)t=4, (c)t=8, (d)t=12, (e)t=16, (f)t=20, (g)t=24, (h)t=28, (i)t=32	81
Şekil 4.59. Feromon buharlaşma oranındaki değişimin ateşin kuzey tarafındaki duvarda kapının sol kısmında bulunduğu durumda tahliye süresi üzerindeki etkisi ..	82
Şekil 4.60. $f=0.1$ için yaya sayısının 120 olduğu, ateşin kuzey tarafındaki duvarda kapının sol ve sağ kısımlarında bulunduğu tahliye sürecinin anlık durum görüntüsü (a)t=0, (b)t=4, (c)t=8, (d)t=12, (e)t=16, (f)t=20, (g)t=24, (h)t=28, (i)t=32.....	83
Şekil 4.61. Feromon buharlaşma oranındaki değişimin ateşin kuzey tarafındaki duvarda kapının sol ve sağ kısımlarında bulunduğu durumda tahliye süresi üzerindeki etkisi	84
Şekil 4.62. $f=0.1$ için yaya sayısının 120 olduğu, ateşin doğu ve batı tarafındaki duvarlarda bulunduğu tahliye sürecinin anlık durum görüntüsü (a)t=0, (b)t=4, (c)t=8, (d)t=12, (e)t=16, (f)t=20, (g)t=24, (h)t=28, (i)t=32	85
Şekil 4.63. Feromon buharlaşma oranındaki değişimin ateşin doğu ve batı tarafındaki duvarlarda bulunduğu durumda tahliye süresi üzerindeki etkisi.....	86
Şekil 4.64. $f=0.1$ için yaya sayısının 120 olduğu, ateşin ortama yayıldığı tahliye sürecinin anlık durum görüntüsü (a)t=1, (b)t=10, (c)t=20, (d)t=30, (e)t=40, (f)t=50, (g)t=60, (h)t=70, (i)t=80, (k)t=90	87
Şekil 4.65. Değişen yaya sayısına göre feromon buharlaşma oranındaki değişimin ateşin ortama yayıldığı durumda tahliye süresi üzerindeki etkisi: (a)70, (b)80, (c)90, (d)100	88

TABLO DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Ateş olmayan hücreye ateş sıçrama ihtimali.....	36



TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince bilgi birikimi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren değerli danışman hocalarım Sayın Doç. Dr. Ahmet ÇETİN' e ve Sayın Doç. Dr. Rana KİBAR' a,

Çalışmalarımı takip eden ve yardımlarını esirgemeyen, tez izleme komitemde yer alan hocalarım Doç. Dr. Halil BABACAN ve Yrd. Doç. Dr. Tarık KUNDURACI' ya,

Hayatımın her anında yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, hayatıma anlam katan sevgili aileme minnetlerimi sunar teşekkür ederim.

Sibel GÖKÇE
Manisa, 2017

ÖZET

Doktora Tezi

Yaya Tahliye Sürecinin Karınca Algoritması Kullanılarak İncelenmesi

Sibel GÖKÇE

Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ahmet ÇETİN

II. Danışman: Doç. Dr. Rana KİBAR

Acil durum sürecinde, yayaların kolektif hareket sergilediği gözlenmektedir. Bu çalışmada bu kolektif hareket, karınca algoritması kullanarak modellenmiştir. Karınca kolonileri, kendi içlerinde iletişimi sağlamak amacıyla feromon adı verilen bir kimyasal kullanmaktadırlar. Yuva ile yiyecek arasındaki en kısa yolu bulmak üzere ilerlerken yolları boyunca zemin üzerine feromon hormonunu bırakırlar. Feromon miktarının fazla olduğu yol, karıncalar tarafından en çok kullanılan yol olmaktadır. Benzer şekilde, tez çalışmasında insanlar da geçtikleri her konuma ‘hayali feromon’ bırakmışlar ve belli bir süre sonra tercih edilen yollar diğer insanlar için ‘çekici bir kuvvet’ oluşturmuştur. Karıncaların salgıladıkları feromon hormonu buharlaşma özelliğine sahip olduğu için, insanların bıraktıkları ‘hayali feromon’lara da buharlaşma özelliği verilmiştir. Acil durum olayının gerçekleştiği ortam, oda olarak ele alınmıştır. Bu ortamdan insanların tahliyesi süreci, üç farklı durum çerçevesinde araştırılmıştır: 1. Duman ve ateşin olmadığı herhangi bir acil durum; 2. Herhangi bir sebeple çıkmış olan bir yangın durumunda, ortamda sadece dumanın bulunduğu ve duman sebebiyle görüşün sınırlı olduğu bir durum; 3. Ateşin ve dumanın aynı anda ortamda bulunduğu durum. Tahliye sürecinde insanlar arasındaki etkileşmeyi etkileyecek unsurlardan birisi de dumandır. Bu çalışmada, ikinci ve üçüncü durumlardaki tahliye sürecinde, duman miktarı her noktada eşit alınmamış ve dumanın ortam içinde laminar olmayan bir akışa sahip olduğu hesaba katılmıştır. Dumanın ortam içindeki hareketi, kum yığını modeline göre simüle edilmiştir. Üçüncü duruma ait simülasyonlar, ateşin; a) lokal olarak kalan (yayılmayan) ve b) ortama yayılan olmak üzere iki farklı durumu için gerçekleştirilmiştir. Acil durum olayının meydana geldiği ortamdan insanların tahliyesi süresi, önerilen modelde kullanılan parametrelere (feromonların buharlaşma oranı, kapının, engellerin ve ateşin konumu, dumanın hareketi) göre ‘Hücrel Otomasyon’ Monte Carlo Simülasyonlarıyla araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Acil durum, tahliye, kolektif hareket, karınca algoritması, hücrel otomasyon

2017, 109 sayfa

ABSTRACT

PhD Thesis

Investigation of Pedestrian Evacuation by Using Ant Algorithm

Sibel GÖKÇE

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Physics**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ahmet ÇETİN

Co-Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Rana KİBAR

It is observed that pedestrians in an emergency exhibit collective behavior. In this work, this collective behavior was modeled by using ant algorithm. The ants in a colony communicate with each other by using a chemical, called pheromone. They dropped pheromone on the substrate crawling forward so that they can find the shortest route between the nest and the food. It is seen experimentally that ants, in general, follow the route involving more concentration of pheromone. With this point of view, in this work, each person dropped a ‘visual pheromone’ on the floor and after a while, the most preferred routes constituted an ‘attractive force’ for the other people. As the pheromone that is used by ants evaporates, these ‘virtual pheromone’ evaporates with time too. The evacuation process was analyzed for a room. The evacuation process was investigated for three different situations: 1. Any emergency where there is neither smoke and nor fire; 2. In the event of a fire that has occurred for any reason, a situation in which only smoke is present in the room and there is limited contact due to smoke; 3. Both fire and smoke exist at a time. In evacuation process, one of the possible reasons to reduce the communication among people is smoke. In this study, it was assumed that the amount of smoke was not distributed inhomogeneously in the field and its flow was not laminar for the situations 1. and 2. The propagation of smoke in the room was simulated by using sandpile model. The Monte Carlo simulations for the 3rd situation were performed under consideration that a) fire did not propagate, b) fire propagated. The evacuation time was investigated for certain values of parameters (evaporation rate of pheromones, the location of doors, obstacles and fire, the movement of smoke) used in the proposed model by performing Cellular Automata Monte Carlo computer simulations.

Keywords: Emergency, evacuation, collective motion, ant algorithm, cellular automata

2017, 109 pages

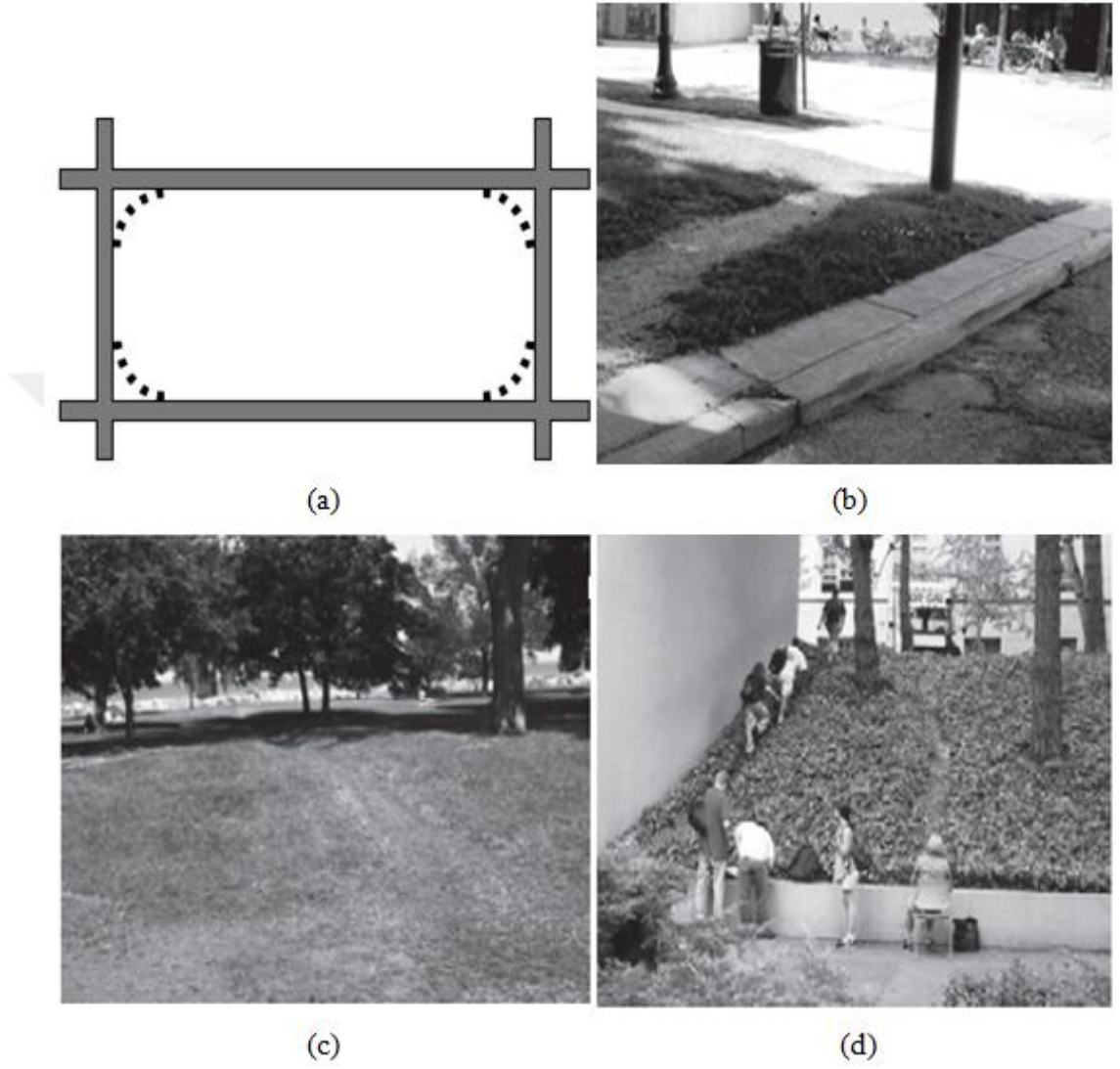
1. GİRİŞ

Acil durum, toplumun genelinin veya belirli bir kesiminin ciddi anlamda tehlikeye maruz kaldığı, toplumun temel fonksiyonlarının engellendiği ve sosyal yapının bozulduğu, kontrol edilmesi zor her türlü olağan dışı olay olarak tanımlanır. Bu olaylar, yangın, doğal afet, silahlı saldırı, bombalama gibi gündelik hayatta karşılaşılabilecek türden olaylardır ve bu olaylar esnasında bulunan bölge ve binalardan çıkış hayati önem taşımaktadır. Tahliye işlemi sırasında can kaybı, yaralanma ve fiziksel hasar şeklinde zararlar söz konusu olabilir ve bu zararları en aza indirme amaçlanarak bu konu farklı durum senaryolarıyla çeşitli bina ve durumlar için çalışılmaktadır.

Karınca kolonilerindeki karıncaların, koloninin hayatını devam ettirebilmesi için sergiledikleri kolektif davranışlar, bilimsel camianın dikkatini çekmiş, fen ve mühendislik sahalarında birçok bilimsel uygulamaya konu olmuştur. Tahliye sürecinde insan davranışları incelendiğinde, insanların da kolektif şekilde hareket ettikleri gözlenmiş ve bu hareket karınca davranışlarıyla simüle edilmiştir. Zira acil durum esnasında yaşanan paniğin, insanları diğer insanları ‘takip etme içgüdüsü’ ile hareket etmeye zorladığı bilinen bir gerçektir ve insanların belirli bir yolu veya yönü daha fazla tercih etmesi, diğer insanlar için ‘çekici bir kuvvet’ oluşturur.

Karıncalar, yuva ile yiyecek arasındaki en kısa yolu bulmak üzere ilerlerken yolları boyunca zemin üzerine feromon (pheromone) adı verilen bir kimyasal bırakırlar. Belirli bir zaman sonra, feromon miktarının fazla olduğu yol, karıncalar tarafından en sık tercih edilen yol olmaktadır. Buna paralel olarak, yapılan çalışmalarda simülasyonlarda her insanın belli kurallar çerçevesinde geçtiği konumlara, benzer çeşit bir kimyasal bıraktıkları varsayılmış, belli bir konumdan insanların sıklıkla geçmesiyle o noktadaki kimyasal miktarının azalmasının engelleneceği ve dolayısıyla tercih edilme ihtimalinin artacağı düşünülmüştür. Bu varsayımın kabul edilebileceği, hatta günlük hayatta bu varsayımı destekleyecek şekilde hareket edildiği aşikardır. Örneğin; insanlar dikdörtgen şeklindeki bir parkın köşesini dönmek durumunda olduğunda, yolunu kısaltacak bir rotayı tercih etmeye eğilimlidir. Şekil 1.1, buna benzer bir durumu göstermektedir: (a)’daki kesikli çizgiler ve (b)’deki çimlerin arasındaki toprak yol bu durumu tasvir etmektedir.

(c)'de insanların geçtikleri yolların oluşturduğu izler görülmekte ve (d)'de ise insanların, tehlikeli olmasına rağmen daha kısa bir yolu tercih ettikleri ile ilgili bir fotoğraf gösterilmektedir.



şekil 1.1. İnsanların hareket mesafelerini kısaltacak rotaları tercih etmesi [1].

Acil durumlarda yayaların sergilediği kolektif hareket makro ve mikro olmak üzere iki farklı modelle incelenmektedir. Makromodel, hesaplamalarda kolaylık sağlayan ancak bireysel davranışları hesaba katmayan bir modelleme olduğundan dolayı çok tercih edilmemekte, genellikle mikromodelle çalışılmaktadır. Mikromodel; bireyleri akışkan dinamiğindeki moleküller gibi ele alan moleküller dinamik modeli, gaz molekülleri olarak ele alan latis gaz modeli ve hücresel otomasyon model'i olmak üzere üç sınıfa ayrılır. Bu modellemelerden yalın olmakla

beraber kompleks durumların çalışılmasını kolaylaştırması sebebiyle en çok kullanılan hücresel otomasyondur.

Hücresel Otomasyon modeli, ilk kez biyolojik reproduksiyon ve kristal büyütme alanlarında kullanılmış, temelde hücreler topluluğundan oluşan ayırık bir modeldir. Hücreler çok sayıda durumla tanımlanabilir ve bu hücrelerin bir sonraki zaman adımıdaki yeni durumlarını belirleyen güncelleme, komşu hücrelerin durumuna bağlı olarak gerçekleştirilir. Dikkate alınan iki tür komşuluk vardır; a) Merkezi hücre ve onun kuzey, güney, doğu ve batı olmak üzere dört komşuluğunu hesaba katan Von Neumann komşuluğu ve b) bu komşulara ilaveten kuzey-doğu, kuzey-batı, güney-doğu ve güney-batı da dahil olmak üzere toplamda sekiz komşu hücreden meydana gelen Moore komşuluğu.

Literatüre bakıldığında, çalışılan modellerde farklı acil durum senaryolarıyla günlük hayatta karşı karşıya kalınabilecek durumların araştırıldığı ve tahliyenin olası sonuçlarını etkileyebilecek parametrelerin belirlendiği görülmüştür: Tahliye süresinde etkili olan bina geometrisi, çıkış kapısının boyut ve konumu, ortamda bulunan engellerin konumları ve sabit olup olmama durumları, çeşitli sebeplerle ortamda var olan duman sebebiyle görüşün sınırlanması, farklı yayılma hızına sahip ateşin varlığı, insanlar arasındaki panik kaynaklı 'itici' ve akrabalık ilişkisinin (anne-çocuk vb.) ortaya çıkardığı 'çekici' etki gibi birçok değişken hesaba katılarak çalışmalar yapılmış ve bu çalışmalarla tahliyenin optimum şartlarda gerçekleşmesi amaçlanmıştır.

1.1. Literatür Özeti

Tahliye gerektiren acil durumlarda yaya davranışları incelendiğinde, yayaların kolektif hareket sergilediği gözlenmektedir. Kolektif davranışın en önemli özelliği bireyin 'diğerlerinin' etkisiyle hareket etmesi ve genel hareket desenine uyarak davranışlarını değiştirmesidir [2]. Kolektif hareket deseni yalnızca insanlarda [3-9] değil aynı zamanda makro moleküllerde [10, 11], bakteri kolonilerinde [12-16], amiplerde [17, 18], hücrelerde [19-22], böceklerde [23, 24], balıklarda [25-28], kuşlarda [29-32], memelilerde [33-35] ve karıncalarda [7-9, 36-39] da görülmektedir.

Tahliye modelleri makro model ve mikro model olmak üzere iki sınıfta incelenmektedir. Makro model, hesaplama kolaylığı sağlayan bir model olmasına karşın bireylerin davranışlarını ayrıntılı bir şekilde tanımlayamadığı için, elde edilen sonuçlar genellikle gerçek verilerle uyuşmamaktadır. Mikro modelde ise kalabalık içindeki bir bireyin davranışı, içinde bulunduğu çevre ve bina yapısı gibi faktörlerden etkilenmektedir. Bu sebeple mikro modelin daha gerçekçi olduğu söylenebilir.

Mikro model sürekli ve kesikli olmak üzere iki temel modelle çalışılmıştır. Sürekli model, bireyleri akışkan dinamiğindeki moleküller gibi ele alır. Bu model hız, yoğunluk ve akışın ölçülmesi için kullanılır. Helbing tarafından önerilen toplumsal güç modeli en önemli sürekli modeldir [4, 40]. Bu model mikroskobik yaya simülasyon modeli olup yayaların hareketi Newton mekaniğine dayandırılmıştır. 2002 yılında Hughens yaya akışını hesaplayan eşitsizliklerin çözümünü hazırlamış ve süper kritik akışla kritik üstü akıştaki karmaşanın stabilitesini karşılaştırmıştır [41]. Bu çalışma, 2009 yılında iki boyutlu olarak revize edilerek, yayalar arasındaki yoğunluk, akış ve yürüme hızı etkileşimi korunum denklemiyle hesaplanmıştır [42]. Kesikli modelde ise en çok örgü gaz modeli ve hücrel otomasyon modeli kullanılmıştır. Örgü gaz modeli kullanılarak 1999 yılında bir alt geçitte yayaların akışı çalışılmış, kritik bir yoğunlukta dinamik sıkışıklığa geçiş gözlenmiştir [43]. 2001 yılında ise Tajima ve ark., yoğunluk, bir eşik değeri geçerse dar bir geçitten tek yönlü akışta, tıkanmanın meydana geleceğini göstermişlerdir [44]. Nagatani ve ark., dar bir geçitte yaya akışını ortalama alan teorisini kullanarak çalışmışlar ve bir-boyutlu yaklaşımla iki-boyutlu yaya akışı davranışını ortaya koymuşlardır [43-55].

Tez çalışması kapsamında insanların tehlikeli bölgeden tahliyesi sürecini incelemek için kullanılan ‘Hücrel Otomasyon’ modeli, ilk kez 1940’lı yıllarda biyolojik reproduksiyon ve kristal büyütme alanlarında Von Neumann tarafından çalışılmış [56], daha sonra biyoloji [57] ve akışkanlar dinamiği [58] gibi alanlarda da kullanılmıştır. Temelde hücrel otomasyon, hücreler topluluğundan oluşur ve bu hücreler çok sayıda durumla tanımlanabilir. Otomasyonda kural, hücrenin yakın komşuluğundaki hücrelerin güncel durumunun bir fonksiyonu olarak, bir sonraki zaman adımında yeni durumun nasıl olacağını tahmin edilmesidir. Hücrel otomasyon, 2003 yılından itibaren trafik akışı dinamiklerinin simülasyonunda da

kullanılmaya başlamıştır [59, 60] ve bu modeller temel alınarak, yaya dinamikleri alanında insan davranışlarını dikkate alan ayrıntılı çalışmalar yapılmış ve halen yapılmaya devam etmektedir [61, 62]. Tahliye ve yaya dinamiklerinin benzer özellikler taşıması sebebiyle hücresel otomasyon, acil durum bölgesinden insanların tahliyesinin modellemesinde de kullanılmıştır. İki-boyutlu hücresel otomasyonla Burstedde ve ark., sabit akıştan sıkışıklığa geçişteki parametreleri incelemişlerdir [63]. Yang ve ark. ise, bir veya iki çıkışı olan bir odadan yangının var olduğu bir durumdaki tahliye problemini çalışmışlar, bu çalışmayla tehlike kavramının daha güvenli ve daha mantıklı olan çıkış yolunu seçmeyle bağlantılı olduğu fikrini ortaya koymuşlardır [64, 65]. 2007 yılında stokastik analizlere ve insan davranışlarına dayanan başka bir yaklaşım önerilmiştir [66]. Zhou ve ark. tarafından yangın durumunda büyük bir binanın tahliyesi çalışılmış, dumanın insanların hareketi üzerindeki etkisi incelenmiştir [67].

Hücresel otomasyonda en yaygın kullanılan model ‘Zemin Alanı Modeli’ (Floor Field Model) olup bu modelde yayaların hareket yönü, çıkışların pozisyonuna ve yayalar arasındaki etkileşime bağlıdır. ‘Zemin Alanı Modeli’ kullanılarak, bir odadaki kapı sayısı ve engellere bağlı olarak tahliye işlemi [68], çıkışın önüne konan bir engelin ve insanlar arasındaki çatışmanın tahliyeye olan etkisi [69], çıkış kapısının büyüklüğünün ve statik alan yoğunluğunun hesaba katıldığı tahliye problemi [70] ve farklı panik seviyelerine ayrılan yayaların her birinin kendine ait tahliyesi [71] çalışılmıştır. Hücresel otomasyonda genellikle bir hücre ancak bir birey tarafından doldurulabilir. Ancak bazı durumlarda daha güvenilir sonuçlar elde etmek için, bir insanın birden fazla hücreyi kaplayabileceği ihtimali de hesaba katılmıştır [72, 73]. Tanimoto ve ark. yaya dinamikleri için ayrıntılı bir hücresel otomasyon modeli geliştirmiş, yayaların çarpışma etkilerini de hesaba katarak tahliye problemini çalışmışlardır [74].

Tez çalışmasında Hücresel Otomasyon modeli kullanılarak üç farklı acil durum senaryosu modellenmiştir. Bu senaryolar birbirinden farklı acil durumlar belirtebileceği gibi, bir yangın olayının üç aşamasını da gösterir nitelikte olup, ateş ile dumanın olmadığı, sadece dumanın olduğu ve ateş ile dumanın birlikte bulunduğu durumları anlatmaktadır.

Çeşitli sebeplerle meydana gelmiş yangın vakalarının insan hayatını tehdit eder nitelikte olduğu düşünülürse, buna benzer acil durumları modellemenin gerekliliği de ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, yangın türü olaylarda tahliye zorlaştıran duman faktörü de hesaba katılmalıdır. Dumanın iki türlü etkisi vardır. Bunlardan ilki dumanın insan sağlığına olumsuz etkisidir; yangınla ilgili ölümlerin %60-%80 civarındaki kısmının duman ve yanma neticesinde meydana gelen zehirli gazları solumadan dolayı olduğu bildirilmiştir [75]. İkinci etkisi de dumanın görünürlük oranını kısıtlamasıdır. Görüş mesafesinin az olduğu bir yerde tahliye sırasında insanların davranışları normal duruma göre oldukça farklıdır. Yamada ve Jin, dumanın insanlar üzerindeki fiziksel ve psikolojik etkisini incelemişler ve duman yoğunluğu arttıkça insanların hareketlerinin yavaşlayıp sınırlandığını saptamışlardır [76]. Dumanın etkisi hücresel otomasyon modeliyle 2007 yılında simüle edilmiş, fakat modeldeki tüm insanların çıkışı rahatlıkla görüyor olması modeli mantıksız bir yaklaşım haline getirmiştir [77]. 2009 yılında dumanın etkisini inceleyen bir başka model önerilmiş, modelde duman yoğunluğuna bağlı olarak görebilme oranı sabit alınmıştır [78]. Görebilme oranını hesaplayan model 2011 yılında Yuan ve Tan tarafından önerilmiştir [79]. ‘Dumanın görmeye olan etkisi’ ile ilgili yapılan çalışmalarda dumanın hareketsiz olduğu düşüncesi literatürdeki önemli eksikliklerden bir tanesi olarak görülmüştür. Bu sebeple dumanın oda içindeki yayılması, 1987 yılında Bak, Tang and Wiesenfeld tarafından önerilmiş olan [80] fizik, kombinasyon hesabı ve bilgisayar bilimi alanlarında kullanılan [81-85] kum yığını modeliyle (sand pile model) simüle edilecek, literatürdeki bu eksiklik giderilecek ve dolayısıyla model gerçeğe yakın sonuçlar verecektir.

İnsanların tahliye edileceği ortamda yanmakta olan ateş varsa, bunun da hesaba katılması gerekir. Nitekim Zheng ve ark., birkaç çıkış kapısı olan bir odadan insanların tahliyesi problemini, ateşin yayılmadığı ve yayıldığı durumlar için hücresel otomasyon simülasyonlarıyla araştırmışlardır [86]. Zheng ve ark. bu çalışmada herhangi bir “karınca algoritması” veya “parçacık sürü optimizasyonu” algoritmasını kullanmamışlar ve ortamda ateş olmasına rağmen duman etkisini hesaba katmamışlardır. Yang ve ark., bir süpermarketten insanların tahliyesi probleminde akrabalık (anne-çocuk gibi) ilişkilerini hesaba katmış, bunlar arasında çekici bir ‘sosyal kuvvet’ tanımı yaparak tahliye için geçen süreyi hücresel otomasyon simülasyonlarıyla incelemiştir [87]. J. Ma ve ark., hücresel otomasyon

simülasyonlarıyla ve karınca algoritması kullanmadan, yüksek bir binada yangının (ateşin) çıkması durumunda insanların tahliyesinin başarılı bir şekilde yapılabilmesi için optimum bina yüksekliğinin ne olması gerektiğini araştırmışlardır [88]. Jianyong Shi ve ark., büyük kamu binalarında yangın çıkması durumundaki tahliye işlemini, karınca algoritması kullanmadan aracı(yönlendirici)-tabanlı hücresel otomasyon simülasyonları ile çalışmışlardır [89]. V.A. Oven ve N. Cakici, İstanbul'daki yüksek ofis binalarının tahliyesi problemini 'karınca algoritması' kullanmadan modellemişlerdir [90].

Acil durumlarda insanların tehlikeli bölgeden tahliyesi, 'sürü zekası' denilen algoritmalarla çalışılmış olmasına rağmen, literatürde bu konu ile alakalı az çalışma vardır. Izquierdo ve ark. ateş, duman ve engel gibi değişkenleri hesaba katmadan, 'parçacık sürü optimizasyonu algoritması' kullanarak insanların bir odadan tahliyesi problemini çalışmışlar ve tahliye için geçen süreyi hesaplamışlardır [91]. Nishinari ve ark., 'karınca yolu modeli' ile 'zemin alanı modeli' arasında bir ilişki kurarak insanların bir odadan tahliyesi problemini çalışmışlar ancak onlar da ateş, duman ve engel gibi değişkenleri hesaba katmamışlardır [92]. Zheng ve ark., yine bir odadaki insanların tahliyesini ateş, duman ve engel değişkenlerini hesaba katmadan 'parçacık sürü optimizasyonu algoritması' kullanarak araştırmışlar, modellerine yangın ve duman gibi parametrelerin eklenmesinin mümkün olduğunu ifade etmişlerdir [93]; ki bu çalışmada bu parametreler hesaba katılmış fakat Zheng ve ark. nın kullandıkları 'parçacık sürü optimizasyonu algoritması' yerine, 'karınca algoritması' kullanılmıştır.

Karıncalar kendiliğinden organize sistemler olarak bilinir ve karıncaların davranışlarından esinlenerek yapılmış olan çok sayıda bilimsel çalışma vardır. Karınca yollarının oluşmasında etkin olan ilkeleri anlamak ve bu yollar üzerinde karıncaların hareketlerini etkileyen faktörleri belirlemek, sosyal böcek kolonilerinin popülasyon biyolojisinde temel öneme sahiptir [94]. Bu temel çalışmalardan elde edilen bilgiler bilgisayar uygulamalarında [95], iletişim mühendisliğinde [96], yapay sürü zekası çalışmalarında [97], mikro-robotik çalışmalarında [98,99] ve bunun gibi daha bir çok sahada uygulanmaktadır. Bunun yanında karınca yolu, dengeden uzakta etkileşen parçacıkların oluşturduğu bir sisteme verilebilecek en iyi örneklerdendir.

Bu nedenle böyle sistemlerin kolektif uzay-zaman organizasyonları [100-103], günümüzde istatistik fiziğin ilgi çeken konularındandır [104,105].

Karınca ve insan hareketlerinin benzerliği sayesinde acil durum modellenip panik anındaki insan davranışı simule edilebilir [106,107]. Nishinari ve ark. tahliye sırasında insanların davranışlarıyla karınca kolonilerinin ilerleme sırasındaki davranışlarının, her iki türde de diğer bireyi takip etme isteği olduğundan, benzer olduğunu belirtmişlerdir [92]. Aynı zamanda karıncaların sosyal organizmalar olması, onların insanlarla mukayese edilebilmesini mümkün kılmaktadır [108]. Bu sebeple bu çalışmada, tehlike anında insan davranışları, karınca davranışlarından esinlenerek gerçekleştirilmiş olan hücresel otomasyon simülasyonları ile incelenmiştir. Bu konuda literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında, Shiwakoti ve ark. nın, acil durum esnasında güvenli bir çıkış sağlayacak mimari çözümleri belirlemek için, Arjantin karıncaları kullanılarak yapılan deneyler neticesinde elde edilen sonuçlardan faydalanarak bulunan ortam geometrisinin hareket desenine olan etkisi, tahliye stratejileri ve zıt yönlerde hareket eden yayaları bir bariyerle ayırarak trafik akışını hızlandırmanın mümkün olup olmayacağını araştırdıkları [6], karıncaların kolektif dinamiklerinde bazı değişiklikler yaparak oluşturdukları simülasyon modeliyle farklı iki organizmanın (insan ve karınca) kolektif trafik dinamiklerinin yapısını açıklayarak yapı ve davranış kurallarındaki benzerliği ortaya koydukları [7], kolektif hareket deseninin yalnızca insanlarla sınırlı olmadığını, diğer biyolojik canlılarda da görülebileceğini ortaya koyarak insanlardaki panik durumunu matematiksel bir modele dayandıran bir çalışma yaptıkları [8] ve tahliye edilen bölge içindeki bazı mimari değişikliklerle (çıkış kapısı ve çıkış civarına konulan engellerin farklı konumlandırılması) kolektif hareket deseninin değişebileceğini ortaya koydukları [9] görülmüştür. Schadschneider ve ark. ise karınca davranışlarından esinlenerek yaya dinamiklerini inceleyen bir simülasyon modeli önermiştir. Bu modelde karıncaların birbiriyle iletişim kurmak için kullandıkları kimyasala benzer şekilde insanların da hayali bir kimyasal üreterek diğer insanların hareketini etkilediği düşünülmüş ve bu etki hesaba katıldığında yayaların kulvarlar oluşturarak hareket edebileceği gösterilmiştir [109].

1.2. Tezin Amacı

Tez çalışmasında amaç; acil durum olayının meydana geldiği ortamdan, insanların tahliyesi sürecinde süreyi etkileyecek faktörlerin (feromon buharlaşma hızı, çıkış kapısının konumu, farklı uzunluk ve yapıya sahip engellerin konumları, olası bir yangın durumunda ortamdaki dumanın hareketi ve görünürlüğe olan etkisi ile ateşin konumu v.b.) karıncaların davranışlarından esinlenerek araştırılması ve elde edilen verilerle günümüzde doğal, teknolojik ya da insan kaynaklı afetler neticesinde ortaya çıkabilecek durumlarda, insan hayatı için oluşabilecek tehlikeleri azaltma yönünde geliştirilebilecek modellere esin kaynağı olabilmektir.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Komplekslik

Brezilya Amazon yağmur ormanlarında her sabah yarım milyonluk bir karınca kolonisi yürüyüşe başlar. Bu karınca ordusunun bir sorumlusu yoktur, bir komutan mevcut değildir. Her bir birey neredeyse kördür ve oldukça az bir zekaya sahiptir. Fakat koloni ahenkle yelpaze şeklinde bir desen oluşturarak birlikte hareket eder, yolları üzerindeki avlara birlikte akın eder, öldürür ve yiyip tüketir. Günün sonunda futbol sahası büyüklüğünde bir alanda yenilebilir ne varsa yenmiş olur. Gece olunca karıncalar kendilerine barınak inşa etmeye başlar: İşçi karıncalar birbirlerine kenetli vücutlarıyla zırh görevi gören bir küre meydana getirir ve bu kürenin merkezine kraliçe ve genç larvaları koyarlar (Şekil 2.1). Şafak söktüğünde bu karıncalardan oluşmuş top yok olur ve karıncalar o günkü yürüyüş için yerlerini alır [110].



Şekil 2.1. Karıncaların inşa ettiği geçici barınak (Fotoğraf: Daniel Kronauer).

Yalnız bir asker karınca davranış olarak en az gelişmiş hayvanlardan biridir: Yüz tanesi bir yüzeye konduğunda daireler halinde çatlayıp ölene kadar yürürler. Yarım milyon tanesi bir araya geldiğinde, grup bir bütün olarak ‘kolektif zeka’ ile ‘süperorganizma’ denilen bir yapıyı meydana getirir. Bunun nasıl olduğu, bir koloninin kolektif zekasının altında yatan mekanizmalar, bilim adamlarınca hala anlaşılamamıştır. Asker karıncalar kompleks olarak düşündüğümüz bir çok sosyal sistemden biridir. Aslında hiç kimse bireylerin bir araya gelerek hayatta kalma olasılığını arttıran bu girift yapıyı nasıl meydana getirdiğini tam olarak bilmemektedir. Bağışıklık sistemi de hastalıklara karşı hücrelerin kendi kendine

organize olmasıyla benzer bir davranış sergiler. Kendi kazançları için çalışan birbirinden bağımsız bireylerin ekonomide küresel marketleri oluşturmaları, zeka ve bilinç olarak adlandırdığımız kavramların zekası olmayan bilinçsiz materyallerden meydana gelmesi de kompleksliğe örnektir [110].

2.1.1. Kompleks Sistem Örnekleri

2.1.1.1. Böcek Kolonileri

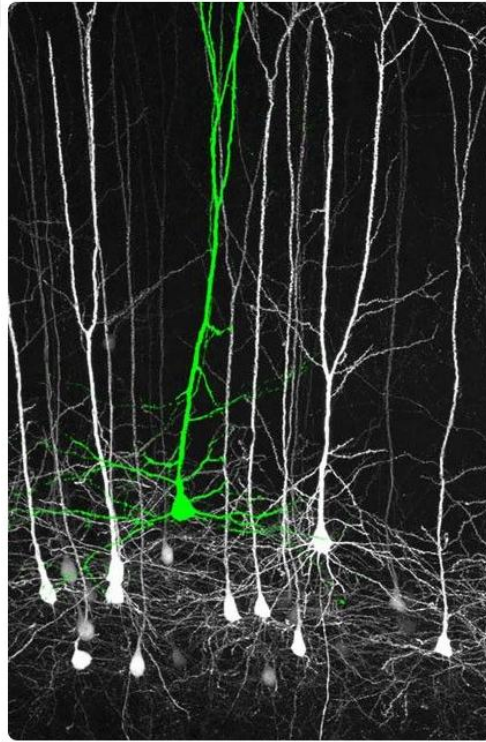
Sosyal böcek kolonileri doğadaki en zengin ve en gizemli kompleks sistem örnekleridir. Örneğin bir karınca kolonisinde, milyonlara varan sayıda karıncadan oluşur, her birey yiyecek aramak için genetik buyruğa uyar, kolonideki diğer karıncaların kimyasal sinyallerine cevap verir, işgalcilerle savaşır vb. Fakat kolonideki karıncaların her birinin bunu kendisine özgü basit hareketlerle yaptığı ve tüm bunların bir araya gelmesiyle koloninin hayatını devam ettirebilmesi için çok büyük önem taşıyan kompleks bir davranışa dönüştüğü gözlemlenmiştir. Toprak, yaprak ve dallarla yer altında bölmelerden, özellikle ısının dikkatle kontrol edilmesini gerektiren larva hazneleri, meydana gelen oldukça sağlam yuvalar ve geçitler, bir yuva alanından diğerine göç esnasında yol üzerinde devam etmeyi engelleyen, bir karıncaya göre büyük mesafe olabilecek alanlarda (iki ağaç dalı arası gibi) Şekil 2.2’de görüldüğü gibi kendi vücutlarıyla oluşturdukları köprüler, bireylerin basit görevlerle meydana getirdikleri kompleks davranış desenine örnek olacak niteliktedir [110].



Şekil 2.2. Karıncaların vücutlarıyla kurduğu köprü (Fotoğraf: Yanuar Akbar).

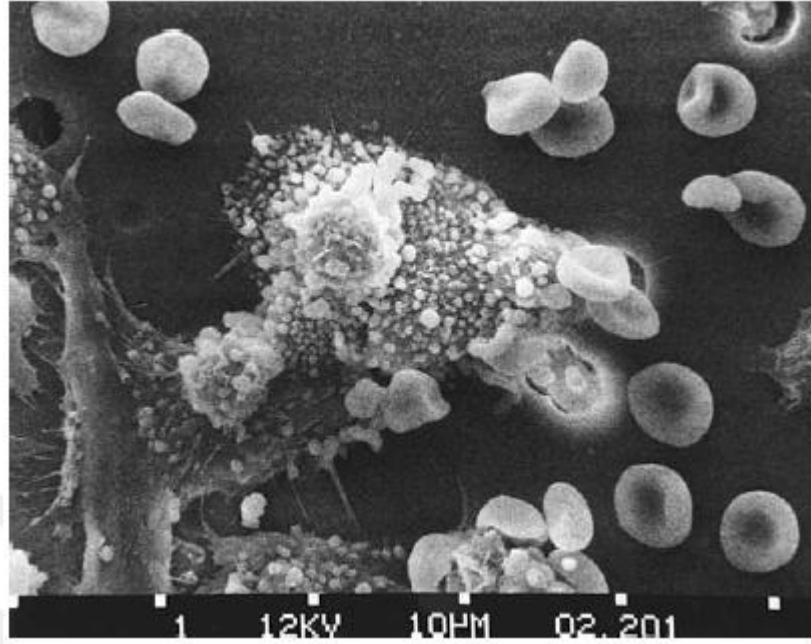
2.1.1.2. Beyin

Beyinde nöron adı verilen basit bileşenler mevcuttur. Beyin nöronun yanı sıra çok sayıda farklı yapıda hücrelerden meydana gelmiştir, fakat bilim adamları düşünce, his, bilinç ve diğer beyin aktivitelerinin büyük ölçüde nöron hareketleri ve nöronlar arası bağlantıyla sağlandığına inanmaktadırlar. Şekil 2.3'te gösterilen nöronlar üç ana bölümden meydana gelir: Hücre gövdesi (soma), diğer nöronlardan gelen verileri ileten dallar (dendritler) ve hücre çıktılarını diğer nöronlara ileten gövde (akson). Kabaca bir nöron ya aktif durumda (ateşleme) ya da inaktif durumda (ateşlememe) olabilir. Dendritlerle diğer nöronlardan yeterince sinyal alınırsa nöron ateşlenir. Ateşleme, akson kanalıyla nörotransmitter denilen kimyasallarla kimyasal sinyale dönüşen elektrik puls göndermektir. Bu dönüşen kimyasal sinyaller dendritlerle diğer nöronları aktif hale getirir. Tüm bunlar karınca kolonileriyle benzerdir: Bireyler (nöronlar veya karıncalar) diğer bireylerden sinyal alır ve bu sinyaller yeterince güçlü hale gelince yeni bir sinyal üretmek için bireyler belirli yollarda hareket eder. Toplam etki ise oldukça karmaşık olabilir [110].



Şekil 2.3. Nöronlar (Görüntü: Dr. Andrew M. Garrett).

2.1.1.3. Bağıklık Sistemi



Şekil 2.4. Bağıklık sisteminin kanser hücresine saldırması (Görüntü: Susan Arnold).

Bağıklık sistemi, basit bileşenlerden oluşmasına rağmen oldukça kompleks davranış sergileyen sistemlere başka bir örnektir. Bu sistem, tıpkı beyin gibi, farklı hayvanlarda değişkenlik göstermesine rağmen birçok türde aynı temel prensiple çalışır. Tüm vücuda (kan, kemik iliği, lenf düğümleri ve diğer organlar) dağılmış farklı tipte hücrelerden meydana gelir. Bu hücreler topluluğu merkezi kontrol olmaksızın birlikte etkili bir şekilde çalışırlar. Bağıklık sisteminin en önemli unsuru diğer adı lenfosit olan beyaz kan hücreleridir. Her lenfosit, gövdesindeki reseptörlerle olası işgalcileri (bakteri gibi) tanıyabilir. Bir trilyon kadarı kanda muhafız gibi gezer ve beklenmedik bir durumla karşılaşıldığında aktive olur. Lenfosit aktive olduğunda çok sayıda antikor salgılar. Bu antikorların görevi vücutta ters giden her şeyi arayıp yok etmektir. Bu duruma örnek olarak bağıklık sisteminin kanser hücresine saldırması görüntüsü Şekil 2.4'te verilmiştir. Beyin ve karınca kolonileriyle benzer şekilde, bağıklık sistemi de unsurlarının basitliğinden bağımsız olarak kompleks bir işlev görür. İşgalci hücre muhafız hücrelere yakalanır ve kimyasal sinyallerle bu durum tüm hücrelere bildirilir, böylece bağıklık sisteminde kompleks bir davranış sergilenerek işgalci hücre sistem tarafından yok edilir [110].

2.1.1.4. Ekonomiler

Ekonomiler, mal alıp satan insanlar (veya şirketler) gibi basit bileşenlerden meydana gelen, öngörülemeyen davranış sergileyen kompleks sistemlerdir. Ekonomistler piyasaların nasıl verimli hale geleceğini veya neyin piyasaları batırabileceğini araştırırlar. Son dönemde bu araştırmalar kompleks sistemlerin kapsamına girmiştir. Çünkü alıcı ve satıcıların karar verme süreçlerinde diğer bireyleri dikkate alarak güncel taleplere göre değişen bireysel alış-satışları, aynı zamanda global ekonomide fiyatları da belirlemektedir [110].

2.1.1.5. Dünya Çapında Ağ (www)



Şekil 2.5. Dünya internet ağı haritası (Bilgi: Greg Mahlknecht, Haritalama: Openstreetmap contributors).

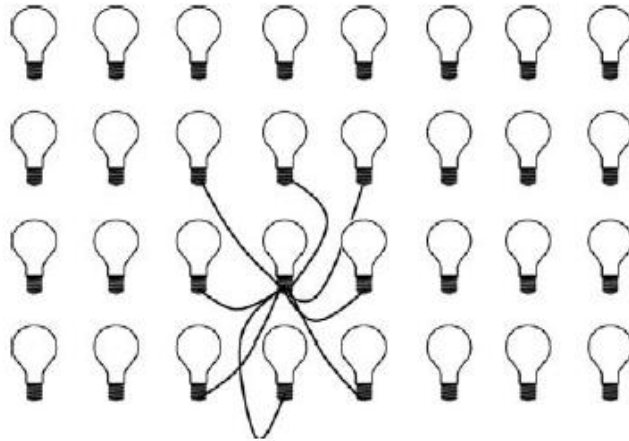
Dünya çapında ağ 1990'lı yılların başında dünya sahnesine çıkmış ve o günden itibaren de gelişimini sürdürmüştür. Ağı, bireylerin postalarında farklı bireylere ait bilgilerin linklerini vermesi şeklinde tanımlayabiliriz. Böylece bilgi linkler şeklinde bireylerden tüm dünyaya yayılır. Şekil 2.5'te dünya internet ağı haritası verilmiştir. Haritaya bakıldığında bireylerin yalnızca posta gönderme gibi basit bir eyleminin ne kadar yayılabilme olasılığına sahip olabileceği görülmektedir. Bunun neticesinde de tıpkı diğer örneklerde olduğu gibi kompleks bir sonuç elde edileceği aşikardır.

2.1.2. Kompleks Sistemlerin Genel Özellikleri

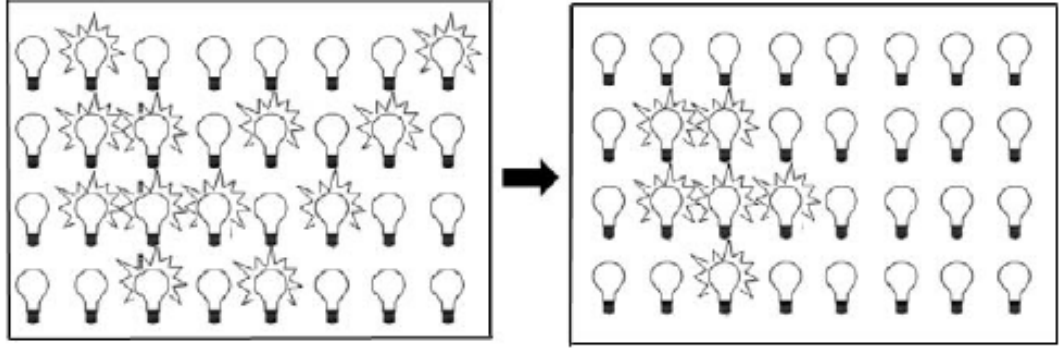
1. Kompleks Kolektif Davranış: Örnek verilen tüm sistemlere bakıldığında merkezi kontrol veya bir lider olmaksızın, oldukça basit kurallara uyan bireylerin (karıncalar, nöronlar, antikorlar, alıcı-satıcılar, internet kullanıcıları) tahmin edilmesi zor bir kompleksliğe sebebiyet verdikleri görülmektedir,
2. Sinyalizasyon ve Bilgi İşlem: Bahsedilen tüm sistemler, iç ve dış çevrelerinden bilgi ve sinyalleri alıp yenilerini üretirler,
3. Adaptasyon: Adı geçen tüm sistemler hayatta kalma veya başarılı olma şanslarını arttırabilme amacıyla davranışlarını değiştirerek adapte olurlar [110].

2.2. Hücresel Otomasyon

Şekil 2.6'daki gibi pille çalışan, ampullerden oluşmuş bir örgü düşünün. Her bir ampul, kuzey, güney, doğu, batı ve köşegenlerdeki ampullerle bağlı olsun. Şekilde yalnızca bir ampul için bu bağlantı söz konusudur ama diğer ampullerin de uygun bağlantılara sahip olduğunu düşünün. Şekil 2.7'de solda birkaç ampulün yandığı görülmektedir (Şekli yalınlaştırmak için ampul bağlantıları çizilmemiştir). Bu yanan ve yanmayan ampullerin her biri durum güncellemesinin ne zaman yapılacağını söyleyen birer saatle ayarlanmıştır ve tüm saatler eşzamanlıdır. Bu sebeple tüm ampuller durum güncellemesini aynı anda yaparlar [110].



Şekil 2.6. Hücresel otomasyon örneği: Hücrelerin her birinin en yakın hücrelerle bağlantılı olması [110].



Şekil 2.7. Hücresel otomasyon örneği: Hücre güncelleme kuralının tüm hücreler için özdeş olması [110].

Bir ampul her bir zaman adımında yanıp yanmayacağına nasıl karar verebilir? Her bir ampul kendisine bağlı olan sekiz komşusunun durumlarının bir fonksiyonu olan bir kurala uyar. Örneğin bir ampule şu güncelleme kuralını verelim: Kendimle birlikte komşuluğumun çoğu yanıyorsa ben de yanayım (zaten yanıyorsam yanmaya devam edeyim) aksi takdirde söneyim (zaten sönüksem sönük kalayım). Şekil 2.7’de başlangıç ve bir sonraki zaman adımında konfigürasyonun nasıl olduğu gösterilmekte olup her bir komşuluğun dokuz ampulden oluştuğu ve eğer beş veya daha fazlası yanıyorsa, bir sonraki zaman adımında merkezdekinin de yanacağı görülmektedir. Şekilde kenarlarda konumlanmış ampuller de dahil olmak üzere her bir ampulün aslında sekiz komşuya sahip olabilmesi için örgüye dairesel sınırlar verilmelidir. Bunun için üst kenarı alt kenarla ve sol kenarı sağ kenarla birleştirerek bir halka şekli verilir. Bu şekilde her ampulün sekiz komşuluğu olması sağlanır [110].

Güncelleme için daha kompleks kurallar da tanımlanabilir: ‘Komşulukta yediden fazla olmamak kaydıyla en az iki ampul yanıyorsa yan, aksi takdirde sön’ veya ‘tam olarak bir veya dört ampul sönerse sön, aksi takdirde yan’. Benzer birçok kural olasılığı mevcuttur ve bu olasılığın sayısı şöyle hesaplanır: Komşuluk tanımına göre merkezdeki hücreyle birlikte komşuluk sayısı dokuz tanedir. Her bir ampul ya yanıyordur ya da sönüktür, bu nedenle komşuluk için olası konfigürasyon sayısı $2^9 = 512$ ’dir. Burada hesaplanan her bir komşuluk konfigürasyonu için ampulün açık veya kapalı olmak üzere bulunabileceği iki durum vardır, durum belirleme sayısı $2^{512} \approx 1.3 \times 10^{154}$ ’tür [110].

Verilen bu ampul örneği bir hücresel otomasyondur: Tıpkı buradaki ampuller gibi hücresel otomasyon da birim hücrelerden meydana gelen bir örgüdür ve her bir hücre için durum güncellemesi, komşuluğundaki hücrelerin durumlarının bir fonksiyonuyla belirlenir. Bu fonksiyona güncelleme kuralı denir ve tıpkı ampul örneğinde verildiği gibi çok sayıda olası kural mevcuttur.

Hücresel otomasyon bir kompleks sistem modelidir. Böyle basit görünen bir sistemin kompleks sistem olabilmesi mümkün görünmese de aslında kompleks sistem özellikleri taşıdığı görülmektedir: Hücresel otomasyon, merkezi bir kontrolün mevcut olmadığı hücrelerden meydana gelmekte ve basit yapısına rağmen hücre güncellemeyle tahmin edilmesi zor kompleks bir davranış sergilemektedir.

Hücresel otomasyon, uzay ve zamanın ayrık olduğu, niceliklerin sonlu bir değer aldığı fiziksel bir sistemdir. İlk dijital bilgisayar icat eden John von Neumann tarafından 1940'lı yılların sonunda keşfedilmiş ve takip eden yıllar boyunca geliştirilerek birçok alanda kullanılmıştır. Von Neumann'ın adı daha çok günümüz dizgisel bilgisayar mimarisi ile ilgili olsa da keşfettiği hücresel otomasyon kavramı çok büyük ölçüde paralel hesaplamanın uygulanabilir ilk modelini oluşturmuştur.

2.2.1. Hücresel Otomasyonun Keşfedilmesi

Von Neumann, karmaşık problemleri çözebilen bir makine yapmak istemiş, bunun için de insan beyni davranışını taklit etmeyi düşünmüştür. Ancak onun bu düşüncesinin o dönemdeki bilgisayarların performansının çok üzerinde olması sebebiyle kendisi bunu sağlayan bir makine tasarlamıştır. Bu makineyi tasarlarken, bilgisayar işlemcisini hafızadan ayırmış böylece merkezi işlemci ile data arasında var olan farklılığı ortadan kaldırmıştır. Daha sonra problemi daha biçimsel bir bakış açısıyla ele almış ve kendi kendini yineleyen bir sistemin özelliklerini bulmakla ilgilenmiştir. Bu amaçla S. Ulam'ın önerileriyle [111] hücrelerden meydana gelen tamamen ayrık bir uzay çerçevesinde çalışmalarına başlamıştır. Her bir hücreyi sonlu sayıda bilgiye sahip bir iç durumla karakterize etmiş ve bu hücreler sistemini ayrık zaman adımlarında iç durumun güncellemesini kolayca yapabilen bir otomasyona benzetmeyi önermiştir. Bu sistemin güncellemesi, komşu hücrelerin durumlarının bir fonksiyonuyla belirlenmiş olup tüm hücreler için aynıdır ve hücre güncellemeleri biyolojik sistemlerle benzer şekilde eşzamanlı olarak meydana gelmektedir [112].

Von Neumann tarafından modellenen bu ayrık dinamik sistemler (hücresel uzay) günümüzde hücresel otomasyon olarak adlandırılır. Önermiş olduğu ilk hücresel otomasyon iki boyutlu kare bir latisten meydana gelmektedir. Bu latis kendi kendini üreten bir yapı olup birkaç bin birim hücreden oluşmaktadır. Bu hücrelerin her biri yirmi dokuz olası duruma sahip [113] olup güncelleme için merkezi bir hücre ve o hücrenin kuzey, güney, doğu ve batısında yer alan dört komşu hücrenin durumunun bilinmesi gerekmektedir. Bu komplekslik sebebiyle von Neumann belirlediği güncelleme kuralını bir bilgisayarda kısmen gerçekleştirebilmiştir [114]. Fakat yeni özdeş bireyler üretmek için bir çözüm sunan hücrelerin ayrık yapısını bulmayı başarmıştır. Bu sonuç, neredeyse yaşamın primitif (ilkel) bir formudur, fakat oldukça ilginçtir; o güne kadar bir makinenin ancak kendinden daha az kompleks bir nesne meydana getirmesi beklenmekteyken, hücresel otomasyonun kendi kendini yinelemesiyle, bir makine benzer komplekslik ve yeteneğe sahip yeni makineler meydana getirebilmiştir [112].

Von Neumann kuralı evrensel hesap denen özelliğe sahiptir. Yani, herhangi bir bilgisayar algoritmasının çözümünü sağlayan hücresel otomasyonun bir başlangıç konfigürasyonunun var olduğu anlamına gelmektedir. Bu sürpriz bir ifadedir ve herhangi bir bilgisayar döngüsünün otomasyon kuralıyla simüle edilebileceği anlamına gelmektedir. Tüm bunlar bir hücresel otomasyon kuralından oldukça kompleks ve beklenmedik bir davranışın ortaya çıkabileceğini göstermektedir [112].

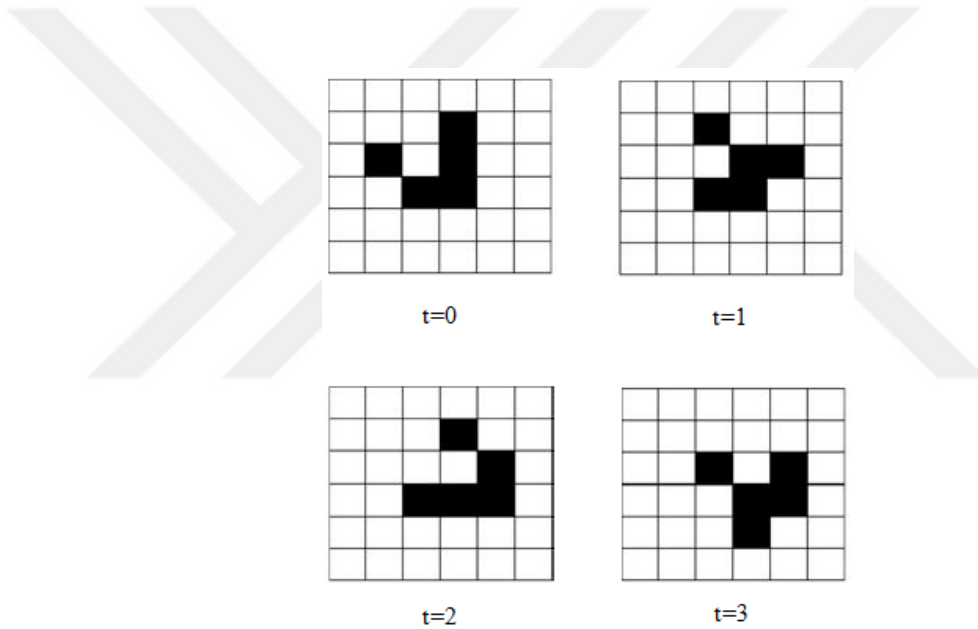
Von Neumann'dan sonra çalışmalar aynı çizgide devam etmiştir. Özellikle 1968'de E.F. Codd [115] ve daha sonra C.G. Langton [116] ve Byl [117], yalnızca sekiz durum kullanarak kendi-kendine yinelemeyi mümkün kılan daha basit hücresel otomasyon kuralları tasarlamışlardır. Bu yalınlaşma, yeni bir yapı yaratımı ve bu yapıda bütünüyle kopyalamayı gerçekleştiren komutların uzaysal olarak ayrık bir düzene (bir çeşit hücresel DNA) sahip olması fikrinin devam ettirilmesini gerektirip, evrensel hesap özelliğinden vazgeçmeyi mümkün kılmıştır.

1970'te matematikçi John Conway ünlü 'game of life' modelini tasarlamıştır [118]. Motivasyonu kompleks davranışla neticelenen basit bir kural bulmak olup tıpkı dama tahtasına benzeyen ve her bir hücrenin ya yaşayan (durum bir) ya da ölü (durum sıfır) olduğu iki boyutlu kare bir latis modellemiştir.

Bu modelin güncelleme kuralı şöyledir;

- Üç yaşayan hücre tarafından çevrelenmiş ölü bir hücre hayata döner,
- İki'den az yaşayan hücre tarafından çevrelenmiş yaşayan bir hücre yalnızlıktan ölür,
- İki ya da üç yaşayan komşuya sahip yaşayan bir hücre yaşamına devam eder,
- Üçten fazla yaşayan hücreyle çevrelenmiş yaşayan bir hücre kalabalıktan ölür (Şekil 2.8).

Burada, çevreleyen hücreler en yakın dört tane (kuzey, güney, doğu ve batı) ve köşegenlerdeki en yakın ikinci komşulardan oluşmuş durum komşuluğa karşılık gelmektedir.

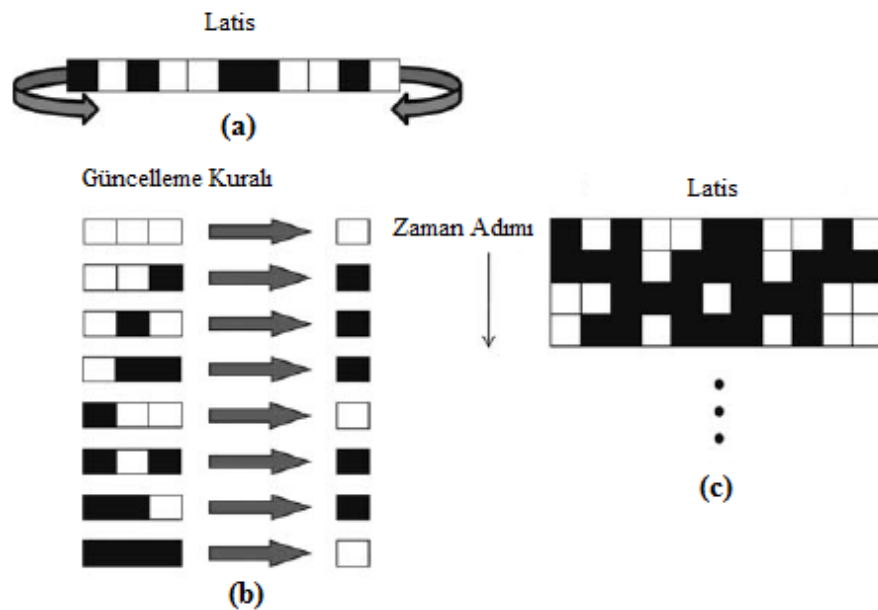


Şekil 2.8. 'Game of Life' modelinin ilk üç adımının örnek gösterimi [110].

Yaşam oyunu otomasyonu umulmadık bir biçimde zengin bir davranışa dönüşmüştür. İlkel bir yapıdan kompleks yapılar ortaya çıkmış ve evrimleşme meydana gelmiştir. Böylece bu model 'evrensel hesap' yapabilme kabiliyetine sahip bir hücresel otomasyon modeli olmuştur.

Tüm bu teorik bakış açılarının yanında, hücresel otomasyon 1950'lerde görüntüleme işlemlerinde de kullanılmıştır [119]. Zaman alan görsel analizlerin otomatik olarak gerçekleştirilebileceği fark edilmiş, hücresel otomasyon

programlama modeline göre basit işlemlerle bir görüntünün pikselleri eşzamanlı işlenebilmiştir. Bir mikroskoptan elde edilen görüntülerdeki gürültüyü azaltma, hesaplama ve boyut tahmini için hücresel otomasyon mantığına dayanan özel amaçlı makineler geliştirilmiştir. 1980'lerin başında S. Wolfram basit bir boyutlu hücresel otomasyon kurallarını detaylı çalışmıştır [120, 121]. Hücresel otomasyonun ayrık bir sistem olduğunu fark eden Wolfram, sürekli bir sistemde karşılaşılan birçok davranışın-daha basit bir şekilde- sergilenmekte olduğunu fark etmiştir. Bir-boyutlu, en yakın iki hücresiyle komşuluğu olan iki durumlu bir hücresel otomasyon modellemiştir. Şekil 2.9'da bu modelleme gösterilmekte olup (a)'da siyah renkli olanların 'açık', beyaz renkli olanların 'kapalı' durumu temsil ettiği kare hücreler görülmektedir. Burada sınırlardaki hücreleri de komşuluğa dahil etmek için latisin kenarlarının kıvrılarak dairesel bir yapının oluşturulduğu düşünülmektedir. (b)'de komşuluğun sekiz olası durumu için güncelleme kuralı uygulaması gösterilmiştir: Komşuluktaki tüm hücreler 'kapalı' durumdaysa merkezdeki hücre de bir sonraki zaman adımında 'kapalı' durumda kalmalıdır, üç hücrelik komşuluğun konfigürasyonu 'kapalı-kapalı-açık' şeklindeyse merkezdeki hücrenin durumu bir sonraki zaman adımında 'açık' olarak güncellenecektir. (c)'de ise bu hücresel otomasyon için uzay-zaman diyagramı gösterilmektedir. İlk satır 'açık' ve 'kapalı' durumların başlangıç konfigürasyonunu gösteren bir-boyutlu latisdir. Aşağıya doğru satırların her biri bir sonraki zaman adımlarında güncellenmiş latis durumunu göstermektedir [110].



Şekil 2.9. Wolfram'ın hücresel otomasyon modelinin bir örneği [110].

Üç hücreli olarak modellenen bu komşuluk için sekiz olası konfigürasyon mevcuttur ve bu sekiz konfigürasyon için iki tane durum (açık veya kapalı) söz konusudur. Buradan, olası kural sayısı $256 (2^8)$ bulunur. Wolfram, o dönem bilgisayarların kapasitesi bu işlemi yapabilecek seviyede olduğu için modelinin çözümünü araştırabilmiştir. Elde edilen sonuçlar, hücresel otomasyonun istatistik mekanik çalışmaları için önemli bir nesne olduğunu kanıtlamada katkı sağlamıştır.

Birçok hücresel otomasyon kuralında var olan evrensel hesap özelliği, birkaç yazara fiziksel dünyanın çok büyük bir hücresel otomasyon olduğunu düşündürmüştür [112]. Tommaso Toffoli, hücresel otomasyonu ayrık uzay-zaman yapısında fiziksel yasalarda basit kurallarla ifade edilen evrenin yapay modeliyle kıyaslamıştır [122].

T. Toffoli, N.H. Margolus ve E. Fredkin hücresel otomasyonun fiziksel sistemler için modellemeyi kolaylaştıran bir öneme sahip olduğunu fark etmişler, bir bilgisayarda sayısal işlemleri tanımlamak için kullanılan bilgi teorisiyle fizik yasaları arasında var olan benzetimle ilgilenmişlerdir. Hücresel otomasyon bu düşünceleri geliştirmek için harika bir sistem sağlamıştır. Özellikle, herhangi bir bilgi kaybı olmaksızın bir sayısal işlemde tam zaman tersinebilirliği mantığının nasıl kurulacağını göstermişlerdir.

2.2.2. Hücresel Otomasyon Tanımı

Hücresel otomasyon;

- Hücrelerden meydana gelmiş düzenli bir latisi,
- Bu latisin her bir $\vec{r}$ sitesine bağlı ve her bir hücrenin $t = 0, 1, 2, \dots$ zaman adımlarında lokal durumunu veren birtakım $\Phi(\vec{r}, t) = \{\Phi_1(\vec{r}, t), \Phi_2(\vec{r}, t), \dots, \Phi_m(\vec{r}, t)\}$ Boolean değişkenlerini,
- $\Phi_j(\vec{r}, t + 1) = R_j(\Phi(\vec{r}, t), \Phi(\vec{r} + \vec{\delta}_1, t), \Phi(\vec{r} + \vec{\delta}_2, t), \dots, \Phi(\vec{r} + \vec{\delta}_q, t))$ şeklinde $\Phi(\vec{r}, t)$ durumlarının zaman güncellemesini belirleyen bir $R = \{R_1, R_2, \dots, R_m\}$ kuralını gerektirir [112].

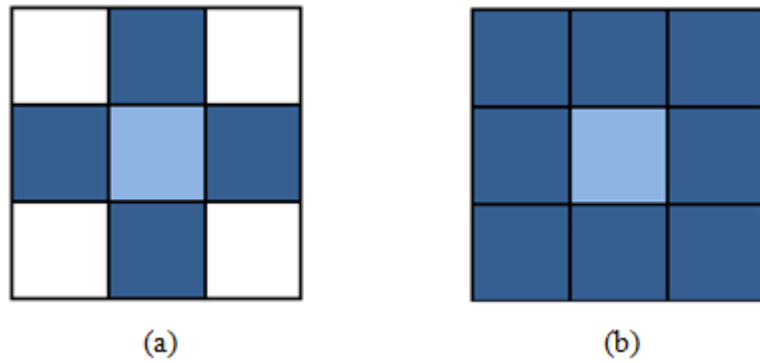
Burada $\vec{r} + \vec{\delta}_k$, verilen bir $\vec{r}$ hücresinin komşusuna ait hücreyi belirtmektedir.

Bahsedilen **R** kuralı tüm hücreler için özdeş olup her biri için eşzamanlı uygulanır ve $\vec{r}$ hücre konumuna bağlı değildir. Bununla birlikte bazı hücreleri belirlemek için latisin istenen birkaç yerinde $\Phi_j(\vec{r}) = 1$ ile uzaysal (veya zamansal) homojensizlik tanımlanabilir. Sınır hücreleri uzaysal homojensizliğin tipik bir örneğidir. Benzer şekilde, çift zaman adımlarında 1, tek zaman adımlarında 0 durumunu kullanmakla da zamansal homojensizlik sağlanabilir [112]

2.2.2.1. Komşuluk

Hücresel otomasyon tanım gereği lokaldır. Hücre güncellemeleri, hücrelerin durumunu yalnızca kendi çevresinde bilmeyi gerektirir. Temelde, tüm hücreler için boyut aynıdır fakat komşuluk boyutunda sınırlama yoktur. Fakat uygulamada bu genellikle bitişik hücrelerle yapılır.

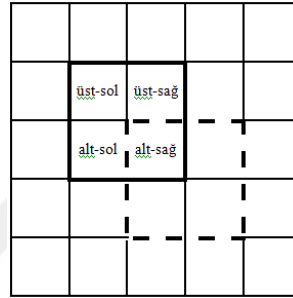
İki boyutlu hücresel otomasyon için genellikle iki komşuluk dikkate alınır: Merkezi hücre ve onun kuzey, güney, doğu ve batı olmak üzere dört komşuluğundan oluşan Von Neumann komşuluğu ve bir de kuzey-doğu, kuzey-batı, güney-doğu ve güney-batı da dahil olmak üzere toplamda dokuz hücreden meydana gelen Moore komşuluğu. Şekil 2.10'da, bu iki standart komşuluk gösterilmektedir: Etrafındaki koyu renkli hücrelerin durumuna göre güncellenen merkezi hücre açık renkle gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Komşuluklar: (a) Von Neumann Komşuluğu (b) Moore Komşuluğu.

Kullanılan bir diğer komşuluk da Şekil 2.11'de gösterilen Margolus komşuluğudur. Bu komşuluğun modellemesinde uzay ikiye bölünür: üst-sol, üst-sağ, alt-sol ve alt-sağ olarak adlandırılan bitişik Margolus bloklarına bölünür.

Kilit fikir, güncelleme meydana geldiğinde bir blok içindeki hücrelerin, bu bloğun durumuna göre güncellenmesidir. Bu özelliği anlamak için, Şekil 2.10'da gösterilen Moore komşuluğunun durumuyla olan farka dikkat etmek gereklidir: Bir güncellemeden sonra, gölgeli hücrenin batısında yer alan hücre kendi Moore komşuluğuna göre güncellenir. Böylece, büyük uzaklık etkilerinin meydana gelmesi önlenecektir. Kum yığını modeli Margolus komşuluğunun sıkça kullanılan bir uygulamasıdır [112].



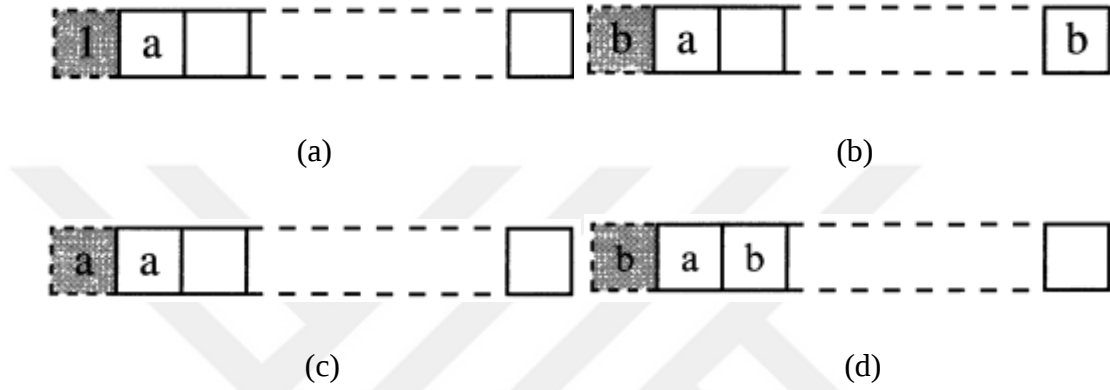
Şekil 2.11. Margolus Komşuluğu. Latis (2x2) büyüklüğünde bloklara bölünmüştür. Olası iki bölünme mevcuttur: Sürekli ve kesikli çizgiyle ayrılmış bloklar. Şekilde alt-sağ ile gösterilen hücre bir sonraki zaman adımında üst-sol olacaktır [112].

2.2.2.2. Sınır Koşulları

Hücresel otomasyon kuralı uygulanırken sonsuz bir latisle ilgilenilemez. Bu nedenle sistemin sonlu olması ve sınır bölgelerinin bulunması beklenir. Latisin sınırlarındaki hücreler diğer iç hücrelere benzer komşuluklara sahip olamaz. Bu hücrelerin güncellemesini tanımlamak için farklı bir hücre güncelleme kuralı dikkate alınmalıdır. Bunun anlamı şudur; Sınırlarda olup olmama bilgisi hücrelerde kodlanmıştır ve bu duruma bağlı olarak güncelleme için farklı bir kural seçilir. Bu yaklaşımı izleyerek, birkaç tip farklı sınır hücre güncelleme kuralı tanımlamak mümkündür.

Sistemin sınırlarında farklı bir kural uygulamak yerine, diğer bir olasılık da sınırlardaki hücreler için komşulukları genişletmektir. Örneğin, periyodik (ya da dönül) sınır koşullarını elde edebilmek için genel çözüm simit-benzeri topolojiye sahip bir latise düşündür. İki-boyutlu latise için de sağa, sola, üste ve alta bağlantılı bir latise düşünülmelidir.

Bir-boyutlu latis için olası sınır koşulları Şekil 2.12’de gösterilmiştir. Sabit sınır koşullarında, komşuluk önceden ayrılmış bir değere sahip hücrelerle tanımlanır. Periyodik sınır koşullarında latisin sınır hücrelerinin, latisin kendisinden meydana gelen sanal bir grup hücreyle arttırıldığı varsayılmaktadır. Adyabatik sınır koşulu (veya sıfır-gradyent) ise, sitenin değerini ekstra sanal hücrelere çoğaltmakla elde edilir. Yansıyan sınır değeri koşulunda, sınır hücresine eklenecek sanal hücrede diğer komşu değeri kopyalamak söz konusudur [112].



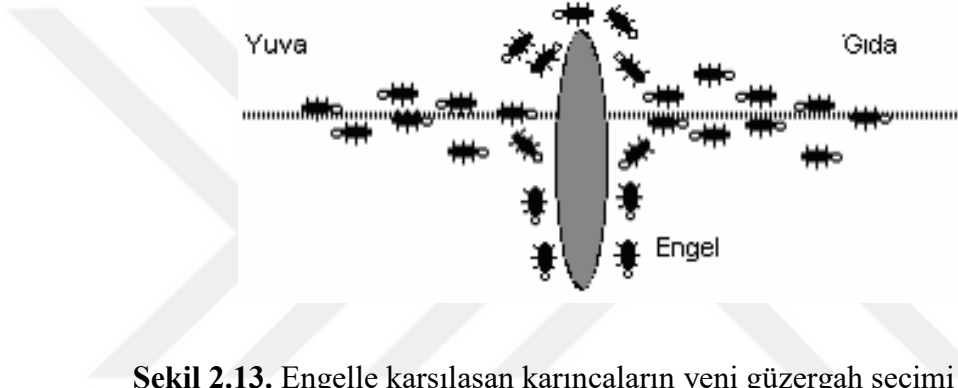
Şekil 2.12. Sınır koşulları; (a) Sabit, (b) Periyodik, (c) Adyabatik, (d) Yansıyan sınır koşulu [112].

2.3. Karınca Algoritması

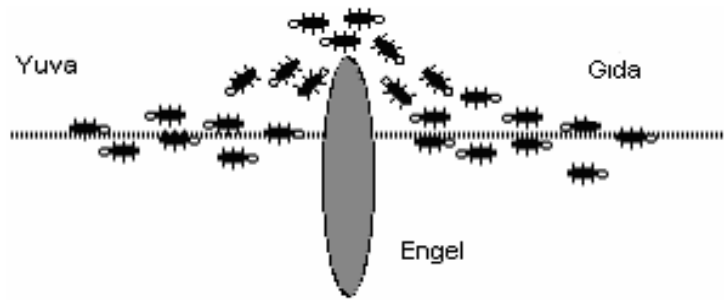
Karınca Kolonisi Optimizasyonu (ACO) optimizasyon probleminde başarılı sonuçlar veren sezgisel bir tekniktir. İlk olarak Gezgin Satıcı Problemi (Travelling Salesman Problem) (TSP) üzerinde uygulanan bu teknik gerçek karıncalardan esinlenerek bulunmuştur. Tekniğin temeli karıncaların haberleşmede kullandıkları feromon hormonudur: Karıncalar yiyecek ararken rastgele olarak keşfe başlarlar, yiyecek bulduklarında ise yuvaya geri dönerken kolonideki diğer karıncalara gıdaya giden yolu göstermek amacıyla vücutlarından salgıladıkları feromon hormonunu yol boyunca bırakırlar. Bu hormon, diğer karıncalar tarafından güncellenir ve koloni için yiyeceğe giden en kısa yolu bulmada aracılık eder. Yoğun feromon miktarı yolun kalitesini gösterir ve o yolun kullanımının tercih olasılığını artırır.

Karıncaların, yiyecek-yuva arasındaki yolda herhangi bir engelle karşılaşması durumunda, engelin önündeki karınca devam edemez ve yeni gidiş yönü için bir karar verme durumunda kalır. Yeni yön seçeneklerinden her birinin seçilme olasılığı

eşittir. Yol seçimi yapan karıncanın en kısa yolu seçmesi durumunda bu yol feromon hormonu bırakılarak tercih edilen güzergah haline gelir (Şekil 2.13). Fakat seçilen yolun en kısa yol olmaması durumunda, koloni güzergahı çok hızlı bir şekilde yeniden yapılandırılır ve yeni seçilen yol üzerindeki feromon miktarı artırılarak sonradan gelen karıncalar için tercih sebebi oluşturulur (Şekil 2.14). Her karıncanın, ortalama aynı hızda ve aynı miktarda hormon bıraktığı göz önüne alınırsa, beklenen durum koloninin engeli fark edip en kısa yolu seçmesinin uzun zaman almasıdır. Fakat, sonradan gelen karıncaların feromon miktarına bağlı olarak gerçekleştirdiği yol seçimi toplamda gıdaya gitme süresini kısaltır.



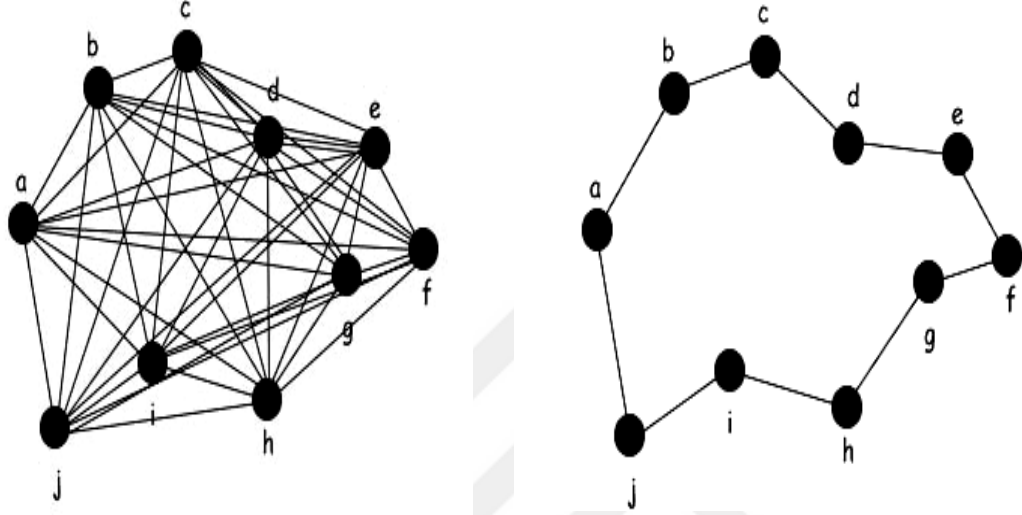
Şekil 2.13. Engelle karşılaşan karıncaların yeni güzergah seçimi [123].



Şekil 2.14. Karıncaların kısa yolu bulmaları [123].

Karıncalar kolonisi optimizasyonu ilk kez 1991 yılında M. Dorigo ve ark. tarafından geliştirilmiş [124] ve değişik boyutlardaki gezgin satıcı problemlerinde (Travelling Salesman Problem) denenmiştir. Dorigo bu algoritmaya 'Karıncalar Sistemi' (Ant System) adını vermiştir. Gezgin satıcı problemi, bir kişinin bir noktadan

başlayarak verilen şehirler üzerinden sadece bir kez geçmesi şartıyla tüm şehirleri dolaşarak en kısa yoldan dönüşü bulması problemidir. Şekil 2.15'te gösterildiği gibi birçok tur ihtimali bulunmaktadır ve normal algoritmik yöntemlerle zaman karmaşıklığı $O(n!)$ 'dir.



Şekil 2.15. Örnek bir TSP ve çözümü [123].

TSP nin seçilmesinde;

- En kısa yol (Shortest Path) problemi olduğundan dolayı kolay adapte edilebilir olması,
 - Sıkça kullanıldığı için başka algoritma testleriyle kolayca karşılaştırılabilir olması,
 - Herkesin kolayca anlayabileceği nitelikte bir problem olması
- rol oynamıştır [97].

Bir TSP’de karınca algoritması örneği şu şekildedir;

1. Başlangıç Konfigürasyonu

$t = 0$ {zaman sayacı}

$NC = 0$ {NC tur sayacı}

Her edge (i,j) için $\tau_{ij}(t) = c$ ve $\Delta\tau_{ij} = 0$ olarak ilkle $\{\tau_{ij}$ feromon yoğunluğu }

m tane karıncayı n tane şehre (düğüme) rastgele yerleştir { m toplam karınca sayısı }

2. Tur Başlangıcı
 - $s = 1$ {s tabu listesi (ziyaret edilen şehirlerin listesi) indeksi }
 - For $k = 1$ to m do
 - k. karıncanın $\text{tabu}_k(s)$ listesine başlangıç şehrini ekle

3. Her Karıncanın Turu
 - Tabu listesi dolana kadar tekrarla {bu basamak $n-1$ defa tekrarlanacak}
 - $s = s+1$
 - For $k = 1$ to m do
 - $p_{ij}^k(t)$ olasılığına göre j şehri hareket etmek için seç
 - {k. karınca t zamanında $i = \text{tabu}_k(s-1)$ şehrinde}
 - k. karıncayı j şehrine hareket ettir
 - j şehrini $\text{tabu}_k(s)$ ya ekle

4. Tur Sonunda Tur Uzunluğunu Ölçme ve En İyi Tur Değerini Yenileme
 - For $k = 1$ to m do
 - k. karıncanın indeksini $\text{tabu}_k(n)$ 'den $\text{tabu}_k(1)$ 'e getir
 - L_k (tur uzunluğunu) her k. karınca için hesapla
 - En iyi tur değerini bul ve yenile
 - Her $\text{edge}(i,j)$ yolu için {--- Buharlaştırmayla birlikte feromon izi bırakma ---}
 - For $k = 1$ to m do
 - $$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} Q / L_k, & \text{eğer } (i,j) \in \text{tabu}_k \text{ ile tanımlı tur} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$
 - Her $\text{edge}(i,j)$ için $\tau_{ij}(t+n) = \rho \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}$ eşitliğine göre $\tau_{ij}(t+n)$ 'i bul
 - $t = t+n$, $NC = NC+1$
 - Her $\text{edge}(i,j)$ için $\Delta\tau_{ij} = 0$

5. Sonlandırma
 - Eğer ($NC < NC_{MAX}$) ise { NC_{MAX} maksimum tur sayısı }
 - Tüm karıncaların Tabu listelerini boşalt
 - 2. basamağa git
 - Değilse
 - En kısa turu bastır
 - Bitiş [123].

Feromon Buharlaşması

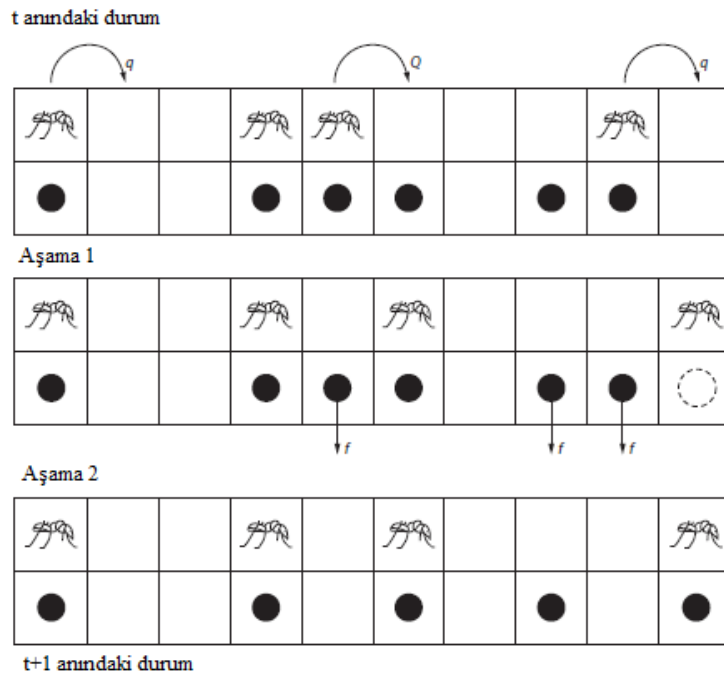
Karınca algoritmasında feromon buharlaşması her bir zaman adımında iki aşamada güncellenerek modellenir. Birinci aşamada karıncalar hareket ettirilirken ikinci aşamada feromonlar buharlaştırılır.

Aşama 1: Karınca Hareketi

Bir hücredeki karınca hareket ettirilirken önündeki hücreye bakılır, eğer önündeki hücre başka bir karınca tarafından işgal edilmiş durumdaysa karınca hareket edemez. Hücre boşsa, karıncanın o hücreye hareket etme olasılığı feromon miktarıyla belirlenir: Feromon varsa Q olasılığıyla, yoksa q olasılığıyla ilerleme söz konusudur.

Aşama 2: Feromon Buharlaşması

Feromon hormonu uçucu bir yapıya sahiptir. Bu nedenle arkadan gelen karıncalar tarafından takviye edilmediği takdirde buharlaşan feromon azar azar tükenir. Birinci aşamada karıncaların hareket etmesiyle boşalan hücrelerde feromonun olması beklenir, eğer bir hücrede karınca yoksa feromon buharlaşabilir.



Şekil 2.16. Karınca algoritmasında feromon buharlaşmasının konfigürasyon gösterim şeması [125].

Şekil 2.16’da her iki aşama da gösterilmiştir. Şemadaki yuvarlak semboller feromonu göstermektedir. İlk sıradaki şekil güncellemelerden önceki başlangıç konfigürasyonudur, ortadaki şekil ise birinci aşamada karıncaların hareket etmesiyle güncellenen hücre durumlarını göstermektedir. İlk iki şekil karşılaştırıldığında iki karıncanın hareket ettiği görülmektedir. Kesikli çizgiyle sınırlanmış içi boş daire o hücredeki karıncanın bırakacak olduğu feromonu belirtmektedir. En alttaki şekil, ikinci aşamadan sonra feromon buharlaşma oranına bağlı olarak olası bir durumu göstermektedir. İki feromon buharlaşmış olup karıncaların bulunduğu hücrelerde de feromon mevcuttur [125].



3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

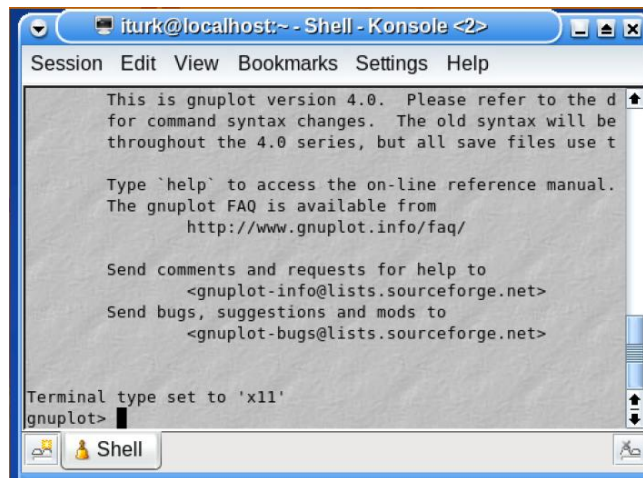
Tez çalışması Fortran programlama dilinde yazılmış olup grafikler için Gnuplot çizim programı kullanılmıştır.

3.1.1. Kullanılan Programlama Dili

Programlama dili, problemi çözmek için bilgisayarın anlamlandırdığı bir araçtır. Problemlerin çeşitliliği ile birlikte programların çeşitliliği meydana gelmiştir. Program ilk olarak 0-1'i kullanan bir dijital araç olarak başlamıştır ve 0-1 ikilisinin kullanımının yetersiz geldiği durumlarda ise yeni programlar geliştirilmiştir. Tez çalışmalarında kullanılmış olan Fortran programlama dili, 1954'ten 1957'ye kadar IBM ve John Backus tarafından geliştirilen bir dildir. Problemlerin bilimsel olarak çözülmesinde kullanılır ve öğrenmesi oldukça kolaydır. Bilimsel olarak hala kullanılan bir dildir ve özellikle eğitim sektöründe uygun olması sebebiyle kullanılır. 1958'de Fortran II versiyonu ile yenilenmiştir. Fortran III, Fortran IV, Fortran 66, Fortran 77, Fortran 90, Fortran 95, Fortran 2003 ve Eylül 2010'da Fortran 2010 adıyla bilinen geliştirilmiş versiyonları da mevcuttur [126].

3.1.2. Grafik Programı

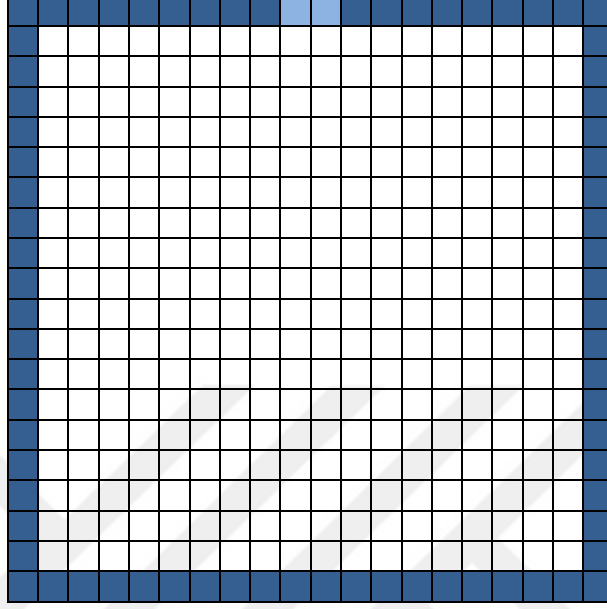
Gnuplot, taşınabilir bilimsel bir görselleştirme programı olup fonksiyonların ve verilerin grafiğini komut vererek çizen bir yazılımdır [127].



Şekil 3.1. Gnuplot programı ekran örneği [127].

3.2. Yöntem

Tez çalışmasında, bir acil durum olayının meydana geldiği ortamdan insanların tahliyesi süreci çalışılmıştır. Bu ortam Şekil 3.2’de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. (20x20) birim hücre büyüklüğündeki bir oda

3.2.1. Hücre Durumu

Çalışılan modele göre bir hücre Denklem 3.1’de belirtilen durumlardan birinde olmak zorundadır:

$$\epsilon_{ij} = \begin{cases} 1, & (i,j) \text{ hücresi boş ise} \\ 0, & (i,j) \text{ hücresi bir insanla, duvarla veya engelle dolu ise} \end{cases} \quad (3.1)$$

burada ϵ_{ij} hücre durumunu göstermektedir.

3.2.2. Zemin Alanı Modeli

Tez çalışmasında gerçekleştirilen simülasyonlarda 2-boyutlu bir örgü tasarlanmış olup ‘Zemin Alanı Modeli’ kullanılmıştır. ‘Zemin Alanı Modeli’nde, kolektif ve bireysel davranışlar arasındaki farkı hesaba katmak üzere, ‘Statik Zemin Alan Modeli’ ve ‘Dinamik Zemin Alan Modeli’ göz önüne alınmıştır.

Statik Zemin Alanı

‘Statik Zemin Alan Modeli’, çıkış kapısına olan en kısa mesafeyi tanımlar ve zamanla değişmez. Latisteki bir hücrenin statik zemin alan değeri üç farklı yöntemle hesaplanabilir: Öklidyen metodu, Manhattan metodu ve Dijkstra metodu.

Statik zemin alanı hesaplama metotlarından hangisinin kullanılabileceği tahliye ortamında engel olup olmama durumuna göre belirlenir; öklidyen metodu engel olmayan durumda kullanılabiliyorken, Manhattan ve Dijkstra metotları engel olan durumda da kullanılır. Tez çalışmasında engel olmayan durumlar için öklidyen metodu, engel olan durumlar için ise Manhattan metodu kullanılmıştır.

Öklidyen metodunda statik zemin alanı değeri Denklem 3.2’de görüleceği üzere

$$S_{ij} = \sqrt{(i_h - i_c)^2 + (j_h - j_c)^2} \quad (3.2)$$

formülüyle hesaplanır. Burada (i_h, j_h) hücrenin konumunu (i_c, j_c) ise çıkış kapısının konumunu ifade eder.

Manhattan metodunda ise her bir hücre sabit bir değerle ifade edilmiştir, bu değerler çıkış kapısına yaklaştıkça azalmaktadır. Çalışmada kullanılan Manhattan metodu zemin alanı değerleri Ek A, Ek B, Ek C, Ek D, Ek E, Ek F, Ek G, Ek H, Ek I ve Ek K’de verilmiştir.

Dinamik Zemin Alanı

Yapılan çalışmalar, karınca davranışlarından esinlenerek modellenmiştir ve gerçekleştirilen simülasyonlarda kullanılmış olan algoritma aşağıda verilmiştir:

Karınca kolonilerinin kendi aralarında kurdukları iletişim yollarından birisi, feromon (pheromone) hormonudur. Her karınca, yolu üzerindeki bu kimyasal hormonu koklayarak yiyecek veya yuvaya giden yolu bulabilir. Koloninin durumu her Monte Carlo adımıda iki aşamada güncellenir. Birinci aşamada, t anındaki feromon bilgisi kullanılarak, karıncalar önlerindeki hücrede bulunan feromon

miktarına göre hareket ettirilir ve $t+1$ anındaki karınca kolonisi durumu elde edilir. İkinci aşamada ise hücrelerdeki feromon miktarları güncellenir. Eğer bir hücre karınca tarafından işgal edilmişse, o hücreye işgal eden karınca tarafından feromon hormonu bırakılır. Eğer hücre karınca tarafından işgal edilmemişse fakat feromon hormonu içeriyorsa, bu durumda mevcut feromonun buharlaşması söz konusu olur. İkinci aşamanın sonunda, $t+1$ anındaki karınca ve feromon konfigürasyonları belirlenmiş olur. Bu işlemler sistem dengeye gelene kadar devam ettirilir ve denge kurulduktan sonra hesaplanması gereken fiziksel büyüklükler hesaplanır.

‘Dinamik Zemin Alanı Modeli’nde hücrelerin değerleri sürekli değişmektedir. Çalışmada kullanılan ‘karınca algoritması’na göre insanların geçtikleri hücreye ‘hayali feromon’ bırakmaları ve bu hayali feromonların buharlaşması söz konusu olduğu için, feromon hormonu miktarları modeldeki ‘Dinamik Zemin Alanı’ni oluşturmuştur. İnsanların geçtikleri hücrelere ‘hayali feromon’ bıraktıkları ve bu feromonlar tazelenmedikçe (yani o hücreden başka bir insan geçmedikçe) buharlaşmaya maruz kaldıkları düşünülmüştür. Eğer t anında (i,j) hücresinde bir insan varsa, $t+1$ anında (i,j) hücresine 1.0 miktarında ‘hayali feromon’ bırakılacaktır. Ancak t anında (i,j) hücresinde bir insan yoksa, $t+1$ anında bu feromon ‘ f ’ buharlaşma olasılığı ile buharlaşacaktır. Burada ‘ f ’ buharlaşma oranı için birkaç farklı değer kullanılacak ve feromonların buharlaşma hızının değişiminin, insanların odayı tahliye süresine etkisi incelenecektir. ‘Hayali feromon’ların buharlaşma olasılığı Denklem 3.3’te görülen şekildedir:

$$\text{Olasılık} = \left(\begin{array}{ll} 1, & A_{ij}(t+1) = 1 \text{ ise} \\ 1 - f \text{ olasılığıyla } 1, & A_{ij}(t+1) = 0 \text{ ve } D_{ij}(t) = 1 \text{ ise} \\ & \text{veya } D_{ij}(t) = 0.5 \\ 1 - f \text{ olasılığıyla } 0.5, & A_{ij}(t+1) = 0 \text{ ve } D_{ij}(t) = 0.5 \text{ ise} \\ & \text{veya } D_{ij}(t) = 0 \end{array} \right) \quad (3.3)$$

Burada $A_{ij}(t + 1)$, $t+1$ anında (i,j) hücresinde insan olup olmadığını göstermektedir; eğer insan varsa $A_{ij}(t + 1) = 1$, yoksa $A_{ij}(t + 1) = 0$ 'dır. 'f' buharlaşma olasılığını ve '1-f' ise buharlaşmama olasılığını göstermektedir. Buna göre miktarı 1.0 olan bir hayali feromon, bulunduğu hücrede bir insan yoksa '1-f' olasılığı ile durumunu korur (yani buharlaşmaz). Ancak aksi durumda miktarının yarısı buharlaşır ve 0.5 kadar feromon kalır. Benzer şekilde miktarı 0.5 olan bir hayali feromon, bulunduğu hücrede bir insan yoksa '1-f' olasılığı ile buharlaşmaz. Ancak aksi durumda miktarı 0.0 olur ve tamamen buharlaşır.

3.2.3. Komşuluk

Hücresel otomasyonda durum güncellemesi komşu hücrelerin durumuna bağlı olarak gerçekleştirilir. İki boyutlu hücresel otomasyon için genellikle iki komşuluk dikkate alınır. Bu komşuluklar, merkezi hücre ve onun kuzey, güney, doğu ve batı olmak üzere dört komşuluğundan oluşan Von Neumann komşuluğu ve bir de kuzey-doğu, kuzey-batı, güney-doğu ve güney-batı da dahil olmak üzere toplamda dokuz hücreden meydana gelen Moore komşuluğudur.

Çalışmada yaya hareketi için Moore komşuluğu, duman hareketi için Von Neumann komşuluğu kullanılmıştır.

3.2.4. Yaya Hareketi

Bir kişinin bulunduğu hücreden, başka bir kişi, duvar veya engel tarafından işgal edilmeyen ve ateşin olmadığı bir komşu hücreye geçiş olasılığı Denklem 3.4'te belirtilen şekilde tanımlanmıştır:

$$p_{i,j} = N \exp(k_D D_{ij}) \exp(k_S S_{ij}) \exp(-k_M M_{ij}) (1 - \eta_{ij}) \epsilon_{ij} \quad (3.4)$$

Burada N, toplam olasılığı 1 (bir) ($\sum_{i,j} p_{i,j} = 1$) yapmak için kullanılan normalizasyon çarpanıdır. D_{ij} insanların bıraktığı 'hayali feromon' miktarını göstermekte ve 'Dinamik Zemin Alan Modeli'ni temsil etmektedir. S_{ij} , 'Statik Zemin Alanı Modeli' değerleridir ve çıkış kapısına olan uzaklığına göre her bir hücreye verilen değeri göstermektedir. M_{ij} , (i,j) hücresindeki duman miktarını (değerini) göstermektedir. k_D, k_S ve k_M , sırasıyla D_{ij}, S_{ij} ve M_{ij} değerlerini

ölçeklemek için kullanılan üç pozitif parametredir. Bağlıdaki η_{ij} ve ε_{ij} , (i,j) hücresinde sırasıyla ateşin ve bir kişinin mevcudiyetine göre değer alabilen iki parametredir.

Yukarıdaki olasılık bağıntısında $\exp(-k_M M_{ij})$ terimindeki ‘-’ işareti, geçiş olasılığı hesaplanan hücrede duman miktarının artması durumunda $p_{i,j}$ olasılığını azaltacak bir etkiye sahiptir. Bunun aksine, $\exp(k_D D_{ij})$ teriminde D_{ij} teriminin artması, feromon miktarının artması anlamına geleceği için $p_{i,j}$ olasılığını artıracak bir etkiye sahiptir. $\exp(k_S S_{ij})$ teriminde ise, S_{ij} değerleri çıkış kapısından uzak hücreler için büyük, yakın hücreler için küçük olduğundan, çıkış kapısından uzak olan bir kişinin çıkış kapısına doğru hareket etme ihtimalini artıracak bir etkiye sahiptir.

η_{ij} şu şekilde tanımlanacaktır:

$$\eta_{ij} = \begin{cases} 1, & (i,j) \text{ hücresinde ateş var ise} \\ 0, & (i,j) \text{ hücresinde ateş yok ise} \end{cases} \quad (3.5)$$

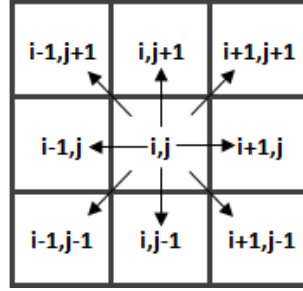
Denklem 3.5’te belirtilen tanım, ateşin bulunduğu hücelere hareket etme ihtimalini ortadan kaldırmaktadır.

Buna göre, insanların hareketi kısaca şu kurala göre gerçekleştirilmiştir: Rastgele bir sayı üretilerek, bu sayının $p_{i,j}$ ’den küçük olup olmadığına bakılacaktır; eğer küçükse hareket gerçekleşecek ancak büyükse kişi yerinde kalacaktır.

Her bir zaman adımında yayaların hareket edeceği hedef hücreye (Şekil 3.3) aşağıdaki kurallarla karar verilir:

- En yüksek $p_{i,j}$ olasılıklı boş hücre tercih edilir,
- Eğer iki veya daha fazla aynı en yüksek $p_{i,j}$ olasılıklı hücre mevcutsa yayanın hangi hücreye hareket edeceği random olarak belirlenir,

- Birden fazla yaya hareket etmek üzere aynı hücreyi seçmişse, hücreye kimin hareket edeceği eşit olasılıkla belirlenir.



Şekil 3.3. Hedef hücre

3.2.5. Ateşin Konumlandırılması

Ateş, Şekil 3.2’de genel tasviri yapılan odanın i) kuzey tarafındaki duvarda ve kapının batı (sol) ve doğu (sağ) kısımlarında, ii) batı ve doğu duvarları civarında oluşturulmuş ve oluşturulduğu yer civarındaki oda hücrelerini işgal etmiştir. Burada yangının yayılmadığı durumda, yangının kapladığı alanın çeşitli sabit değerleri için tahliye süreci incelenmiş ve yangının kapladığı alanın tahliye sürecine etkisi araştırılmıştır. Yangının yayılması süreci de ayrı bir ‘Hücresel Otomasyon’ simülasyonu ile gerçekleştirilmiştir. Bir hücrenin 8 (sekiz) komşu hücresi vardır. Buna göre yangının olmadığı bir (i,j) hücresinin durumu, aşağıdaki tabloya göre güncellenmiştir:

Tablo 3.1. Ateş olmayan hücreye ateş sıçrama ihtimali

İçinde Ateş Olmayan Hücresinin, İçinde Ateş Olan Komşu Hücre Sayısı	Ateş Olmayan Hücreye Ateş Sıçrama İhtimali
0	0
1	0.125
2	0.25
3	0.375
4	0.50
5	0.625
6	0.75
7	0.875
8	1.0

Komşuluğundaki bütün hücrelerin ateş içermesi durumunda ateş olmayan hücrenin de ateş alması ihtimali 1.0 olarak alınmıştır. Burada uygulanan can alıcı kural şudur: Eğer insanın olduğu bir hücrenin komşuluğundaki 8 hücrede de ateş varsa, o kişinin öldüğü varsayılmıştır.

3.2.6. Dumanın Hareketi

Dumanın var olduğu iki ayrı durum incelenmiştir:

i) Herhangi bir sebeple çıkmış olan bir yangın durumunda, ortamda sadece dumanın bulunduğu ve duman sebebiyle görüşün sınırlı olduğu bir durum: Bu durum modellenirken ortamda duman yoğunluğunun az, orta ve çok yoğun olmak üzere üç farklı sabit değeri için Monte Carlo simulasyonları gerçekleştirilmiş, bu sayede üç farklı görüş durumu için tahliye süreci araştırılmıştır.

Dumanın ortam dışından geldiği varsayılmıştır. Başlangıç konfigürasyonunda duman, ortamdaki hücrelere rastgele dağıtılmıştır. Dumanın hareketi kapıya doğru olup duman yoğunluğunun fazla olduğu yerde duman hareketi literatürde farklı alanlarda sıkça kullanılan kum yığını modeliyle (sandpile model) simüle edilmiştir. Bir hücrede biriken duman miktarı, kum yığını modeline göre diğer hücrelere dağılması için gerekli olan maksimum değere ulaştığında Von Neumann Komşuluğu'na göre kuzey, güney, doğu ve batı olmak üzere dört komşuluğuna eşit miktarda dağıtılmıştır.

ii) Ateşin ve dumanın aynı anda ortamda bulunduğu durum: Bu durum modellenirken, ateş olan her hücreye, ateşin çıkardığı dumandan dolayı her Monte Carlo adımıda sabit bir duman miktarı ilave edilmiştir. Ateşe komşu olan hücrelerdeki toplam duman miktarlarının ortam içinde yayılması, kum yığını modeline göre simüle edilmiştir (Şekil 3.4). Bu durum için ateşin olduğu hücrede dumanın olduğu (ateşten duman çıktığı) varsayılmış ve ateşten çıkan dumanın ateşin bulunmadığı hücrelere yayılması sağlanmıştır.

1	2	0	2	3
2	3	2	3	0
1	2	3	3	2
3	1	3	2	1
0	2	2	1	2

1	2	0	2	3
2	3	2	3	0
1	2	4	3	2
3	1	3	2	1
0	2	2	1	2

1	2	0	2	3
2	3	3	3	0
1	3	0	4	2
3	1	4	2	1
0	2	2	1	2

1	2	0	2	3
2	3	3	4	0
1	3	2	0	3
3	2	0	4	1
0	2	3	1	2

Şekil 3.4. Bir kum yığını modelinin (sandpile model) aşamaları [128]. İlk aşamada rastgele olarak bir hücreye bir kum taneciği düşmüştür. Düştüğü hücredeki kum miktarı maksimum değere ulaştığından (buradaki maksimum değer 4 olarak alınmıştır) oluşan kum yığını, ön, arka, sağ ve sol olmak üzere en yakın dört komşuluğa eşit olarak paylaştırılmıştır. Aynı işlem diğer adımlarda da tekrar edilmiştir.

3.2.7. Çıkış Kapısı Civarına Konulacak Engeller

Literatürde çıkış kapısı civarına konulan engellerin, tahliye süresini kısaltabildiği gösterilmiştir [69]. Çünkü uygun bir geometriye sahip olan engel, çıkış kapısı civarına konulduğunda, insanların aynı hücreye hareket etmeleri neticesinde oluşacak olan anlaşmazlıkları azaltmaktadır. Bu sebeple, simülasyonlar çıkış kapısı civarına duvar şeklinde olan engel koyarak tekrarlanmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Tez çalışmasında insanların tahliyesi süreci, üç farklı durum çerçevesinde araştırılmıştır:

1. Duman ve ateşin olmadığı herhangi bir acil durum: Bu durumun modellenmesiyle, hızlı tahliyenin gerektiği acil durumların incelenmesi amaçlanmıştır.
2. Herhangi bir sebeple çıkmış olan bir yangın durumunda, ortamda sadece dumanın bulunduğu ve duman sebebiyle görüşün sınırlı olduğu bir durum: Ortamda herhangi bir acil durum sebebiyle var olan dumanın tahliye süresi üzerindeki etkisini incelemek amacıyla modellenmiştir.
3. Ateşin ve dumanın aynı anda ortamda bulunduğu durum: Bir yangın durumunda, incelenen parametrelerin, optimum tahliyenin gerçekleştirilmesini sağlayacak değerlerinin bulunması amacıyla simüle edilmiştir.

1. Duman ve ateşin olmadığı herhangi bir acil durumda;
 - a) Feromon hormonunun buharlaşma oranının,
 - b) Engelin var olduğu bir durumda engelin boyunun, yerinin ve şeklinin,
 - c) Çıkış kapısının yerinin ve büyüklüğünün,

tahliye üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

2. Herhangi bir sebeple çıkmış olan bir yangın durumunda, ortamda sadece dumanın bulunduğu ve duman sebebiyle görüşün sınırlı olduğu bir durumda;
 - a) Duman yoğunluğunun az olduğu,
 - b) Orta yoğunlukta dumanın var olduğu,
 - c) Duman yoğunluğunun çok olduğu

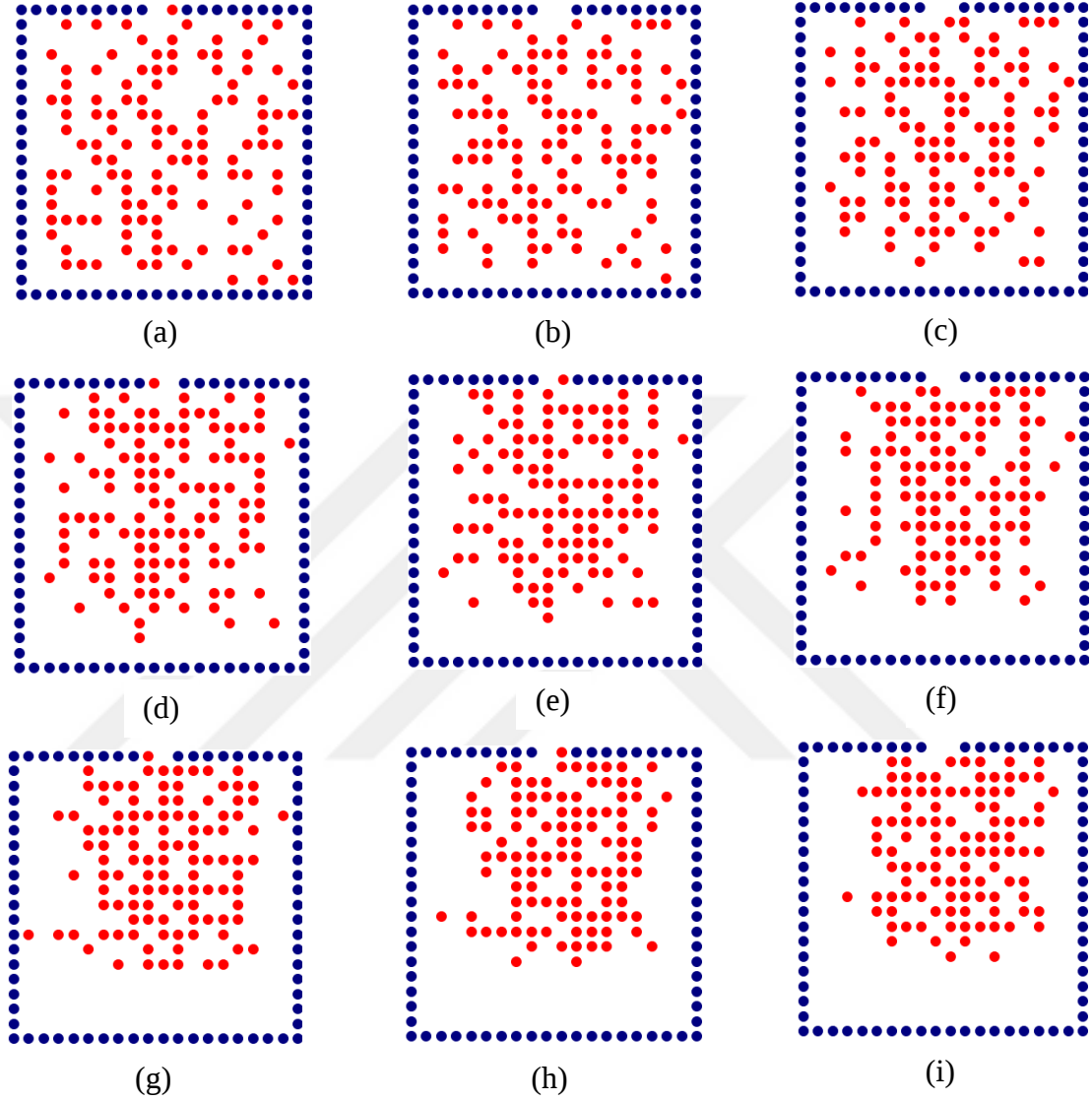
durumlardaki tahliye araştırılmıştır.

3. Ateşin ve dumanın aynı anda ortamda bulunduğu durumda;
 - a) Ateşin lokal olarak kalan (yayılmayan),
 - b) Ateşin ortama yayılan

durumları için tahliyenin nasıl değişeceği araştırılmıştır.

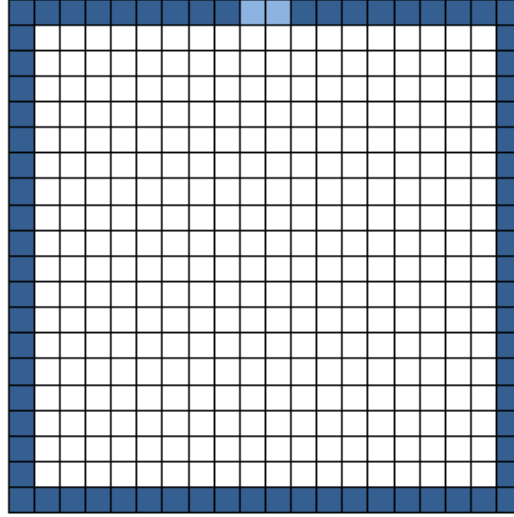
4.1. Duman veya Ateşin Olmadığı Herhangi Bir Acil Durum

4.1.1. Feromon Hormonunun Buharlaşma Oranının Tahliye Üzerindeki Etkisi

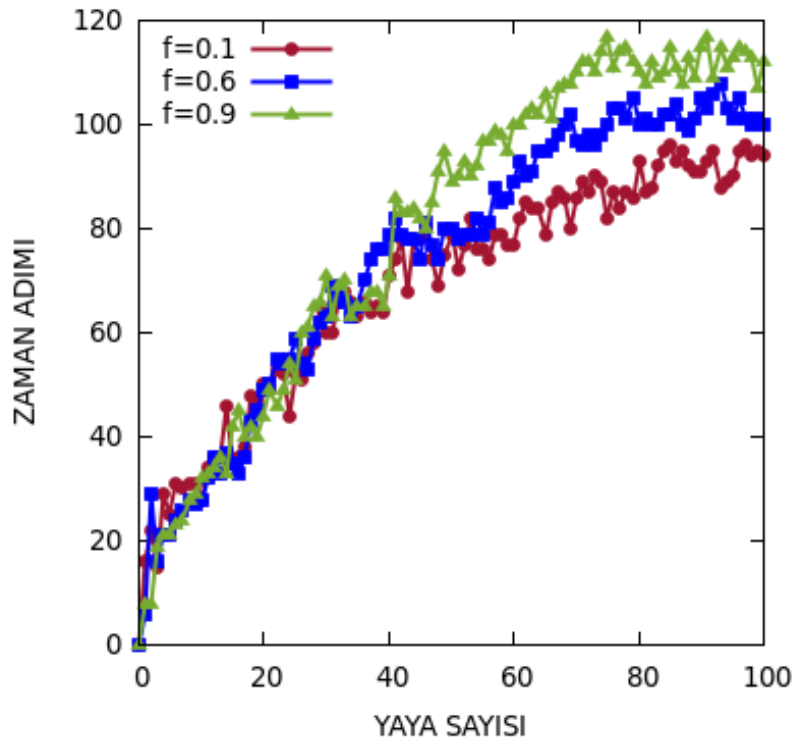


Şekil 4.1. $f=0.1$ için yaya sayısının 120 olduğu anlık durum görüntüsü (a) $t=0$, (b) $t=4$, (c) $t=8$, (d) $t=12$, (e) $t=16$, (f) $t=20$, (g) $t=24$, (h) $t=28$, (i) $t=32$.

Şekil 4.1’de öklidyen metoduyla hesaplanan statik zemin alanı değeriyle yapılan hesaplamalar neticesinde alınan simülasyon sonuçlarıyla çizdirilmiş olan anlık durum görüntülerine bakıldığında, başlangıçta odada rastgele dağıtılmış konumlarda bulunan yayaların kapıya doğru yöneldikleri ve tahliyenin gerçekleşmeye başlamasıyla birlikte geçen her bir t zaman adımında mevcut yaya sayısının azaldığı gözlenmektedir.



Şekil 4.2. (20x20) birim hücre büyüklüğünde iki birim hücrelik tek çıkışlı odanın şematik gösterimi.

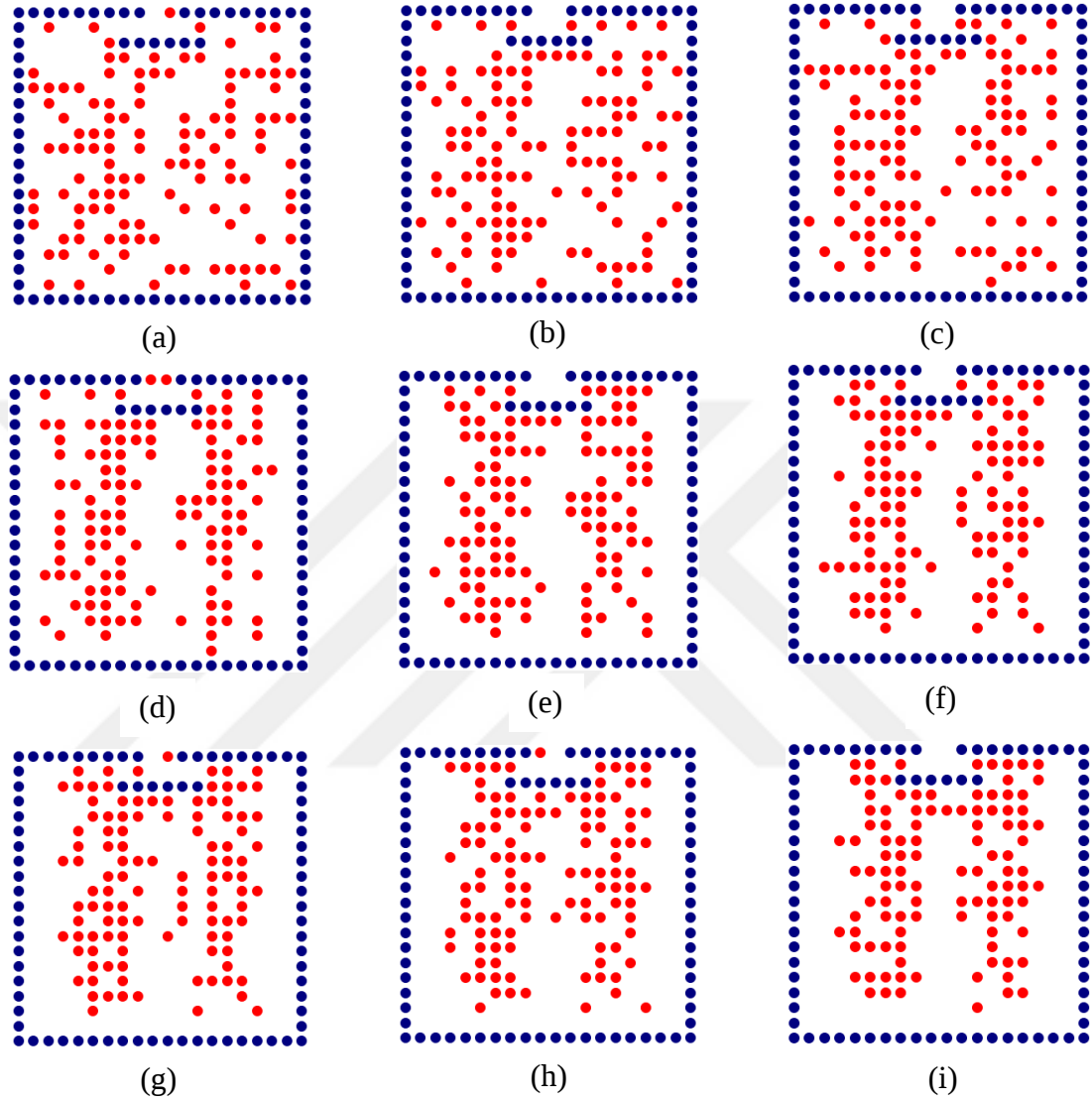


Şekil 4.3. Feromon buharlaşma oranındaki değişimin tahliye süresi üzerindeki etkisi.

Şekil 4.3'teki grafiğe bakıldığında feromon buharlaşma oranındaki artışın süreyi de beklendiği şekilde arttırdığı, 'takip etme içgüdü'sü'nün tahliyeyi olumlu etkilediği görülmektedir.

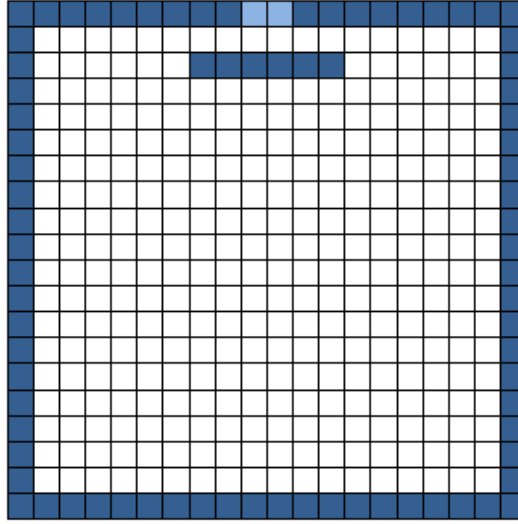
4.1.2. Engelin Var Olduğu Bir Durumda Engelin Boyunun, Yerinin ve Şeklinin Tahliye Üzerindeki Etkisi

a) Engelin Boyunun Tahliye Üzerindeki Etkisi

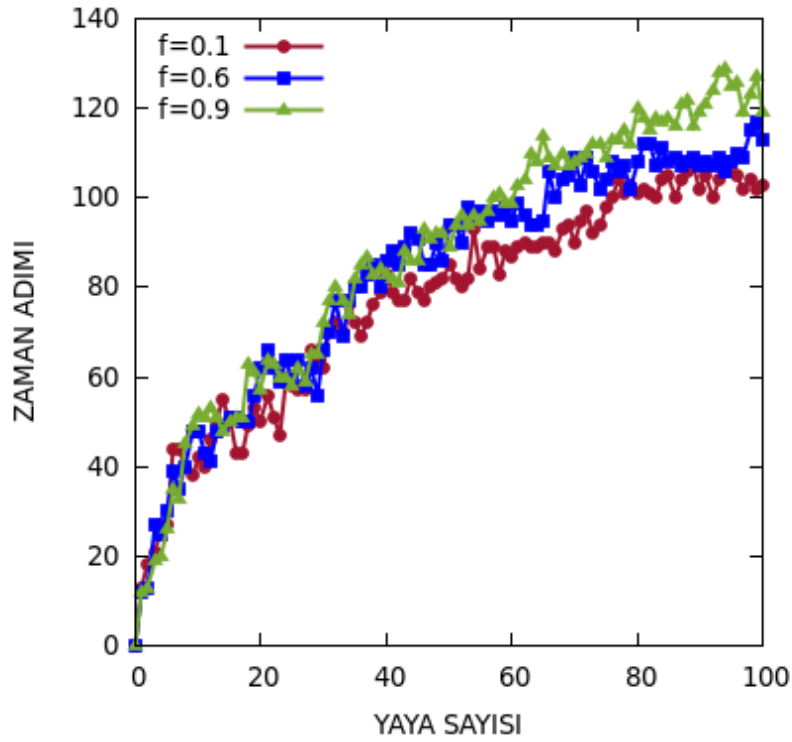


Şekil 4.4. $f=0.1$ için yaya sayısının 120 olduğu, kapıya bir birim uzaklıkta altı birim uzunluğunda bir engelin var olduğu bir tahliye sürecinin anlık durum görüntüsü (a) $t=0$, (b) $t=4$, (c) $t=8$, (d) $t=12$, (e) $t=16$, (f) $t=20$, (g) $t=24$, (h) $t=28$, (i) $t=32$.

Hücrelerin Manhattan metoduyla hesaplanan statik zemin alanı değeri Ek A'da belirtilen şekildedir. Altı birim hücre uzunluğundaki engelin olduğu bir odanın tahliyesinde Şekil 4.4'teki anlık durum görüntülerine bakıldığında, yayaların kapıya paralel konumda bulunan engele doğru ilerlerken iki gruba ayrılarak kapıya olan en kısa rotadan tahliyeyi gerçekleştirdikleri görülmektedir.

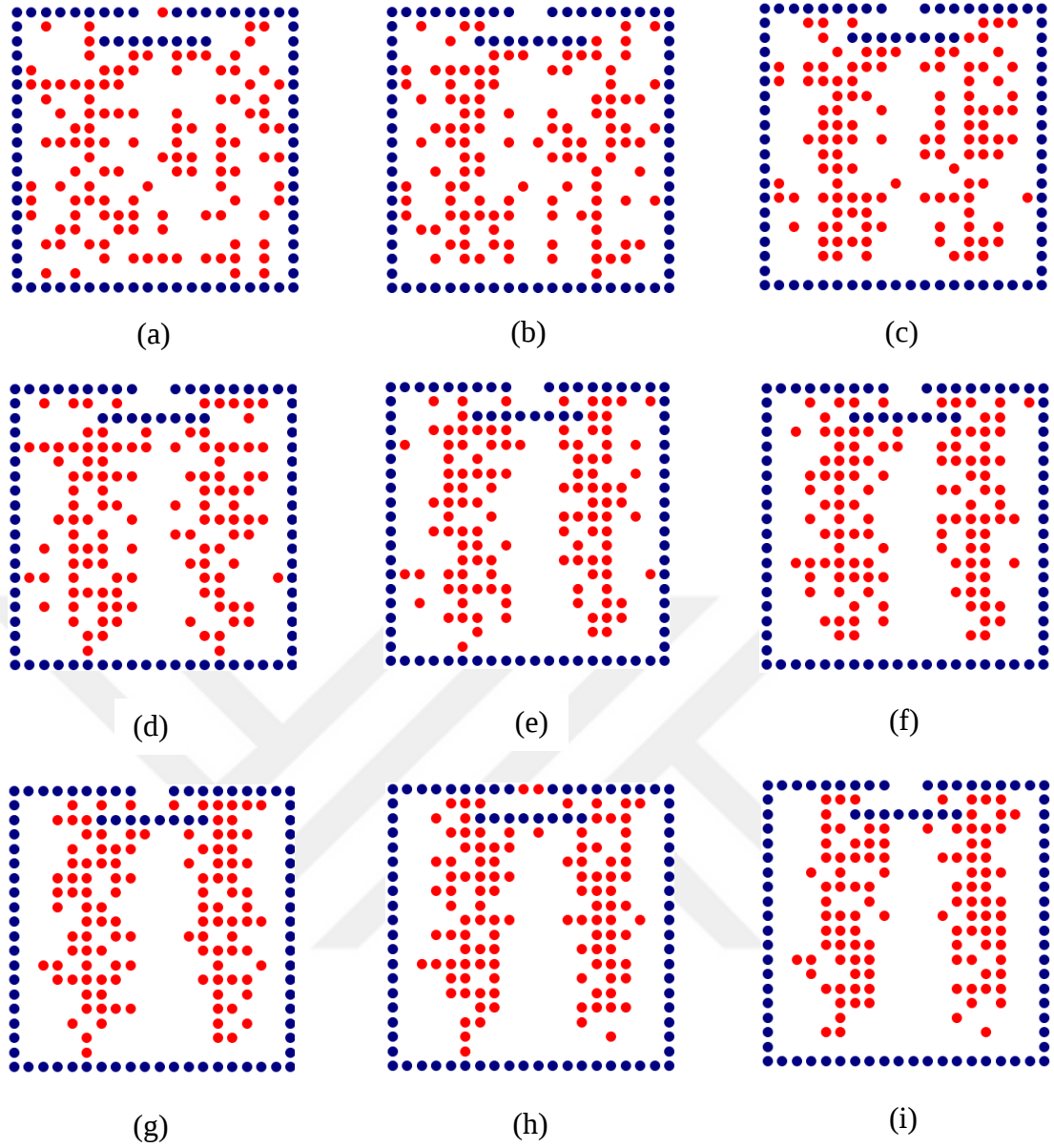


Şekil 4.5. (20x20) birim hücre büyüklüğünde, kapıya bir birim uzaklıkta altı birim uzunluğunda bir engelin var olduğu, iki birim hücrelik tek çıkışlı odanın şematik gösterimi.



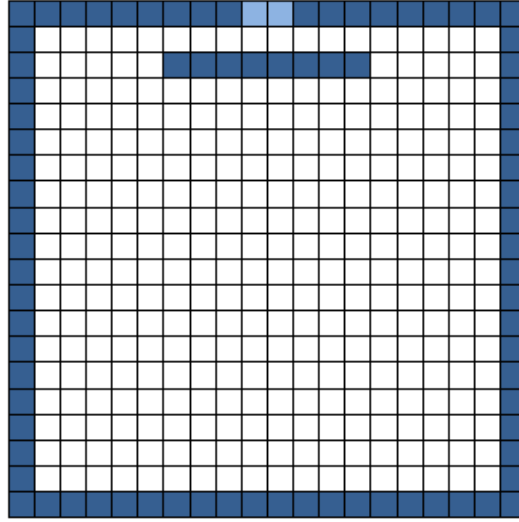
Şekil 4.6. Feromon buharlaşma oranındaki değişimin kapıya bir birim uzaklıkta altı birim uzunluğunda bir engelin var olduğu durumda tahliye süresi üzerindeki etkisi.

Şekil 4.5'teki şematik gösterime sahip odadan, farklı başlangıç yaya sayısı ile değişen tahliye süresinin gösterildiği grafiğe (Şekil 4.6) bakıldığında, feromon buharlaşma oranının süreye olan etkisinin engelin varlığıyla azaldığı görülmektedir.

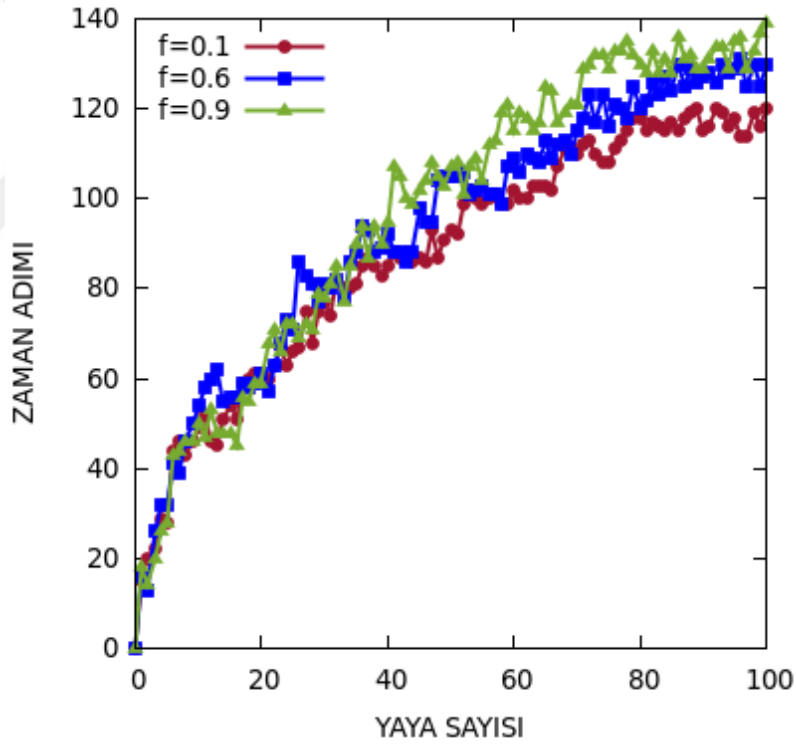


Şekil 4.7. $f=0.1$ için yaya sayısının 120 olduğu, kapıya bir birim uzaklıkta sekiz birim uzunluğunda bir engelin var olduğu bir tahliye sürecinin anlık durum görüntüsü (a) $t=0$, (b) $t=4$, (c) $t=8$, (d) $t=12$, (e) $t=16$, (f) $t=20$, (g) $t=24$, (h) $t=28$, (i) $t=32$.

Statik zemin alanı Manhattan metoduyla hesaplanmış olup hücrelerin değerleri Ek B’de görülen şekildedir. Engel uzunluğu sekiz birim hücre olarak alındığında engelin sağında ve solundaki yayaların meydana getirmiş oldukları tahliye kulvarlarında daralma gözlenmektedir (Şekil 4.7). Bu, daha çok tahliye için ‘sıraya girme’ biçimindeki bir daralmadır. Engel boyunun artmasıyla birlikte tüm yayaların $t=8$ zaman adımında kullanacakları en kısa güzergahı seçmiş oldukları ve bu güzergahı kullanma kararlarının erken alınmasıyla birlikte tahliyenin yavaşlayabileceği düşünülmektedir.

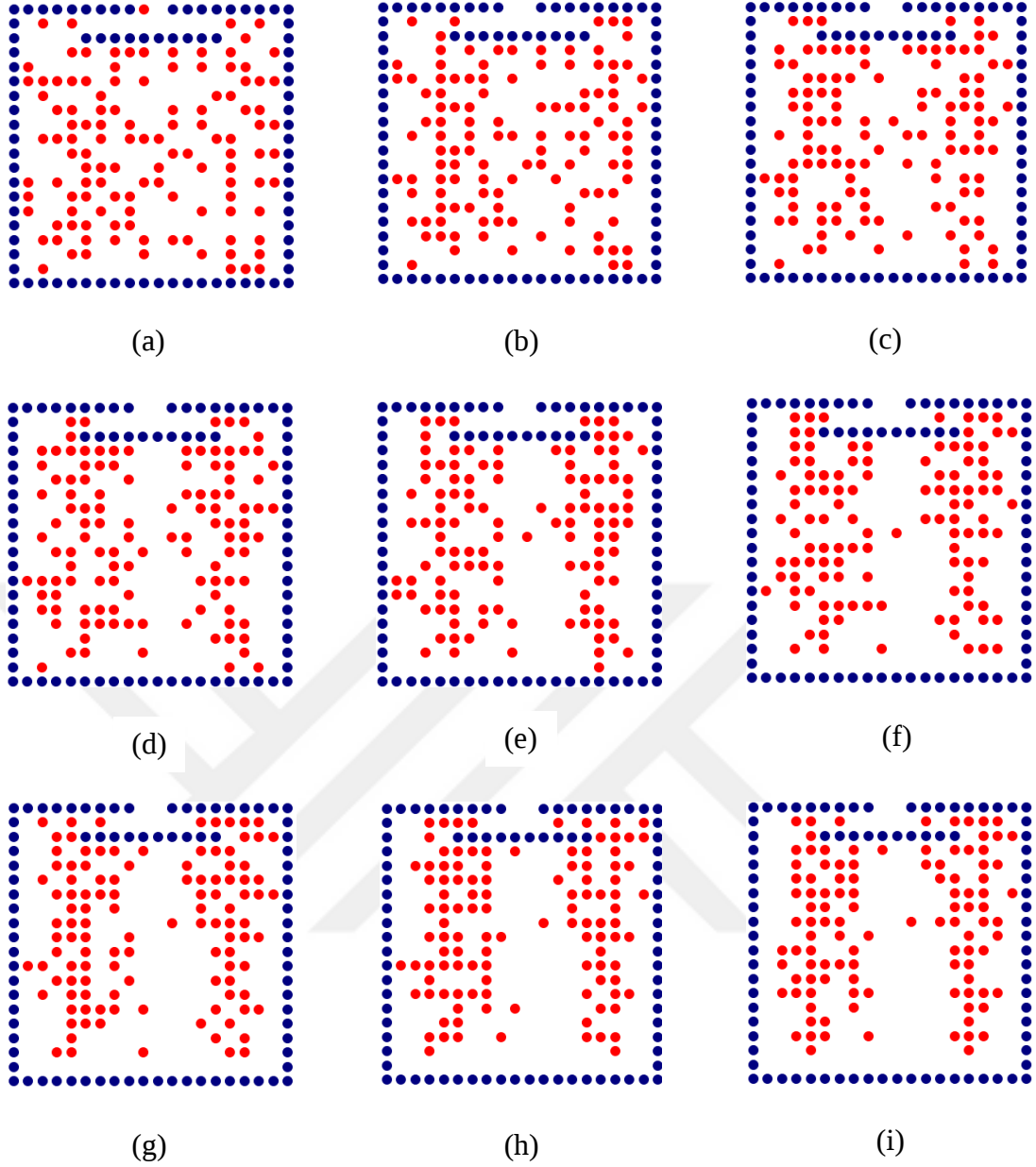


Şekil 4.8. (20x20) birim hücre büyüklüğünde, kapıya bir birim uzaklıkta sekiz birim uzunluğunda bir engelin var olduğu, iki birim hücrelik tek çıkışlı odanın şematik gösterimi.



Şekil 4.9. Feromon buharlaşma oranındaki değişimin kapıya bir birim uzaklıkta sekiz birim uzunluğunda bir engelin var olduğu durumda tahliye süresi üzerindeki etkisi.

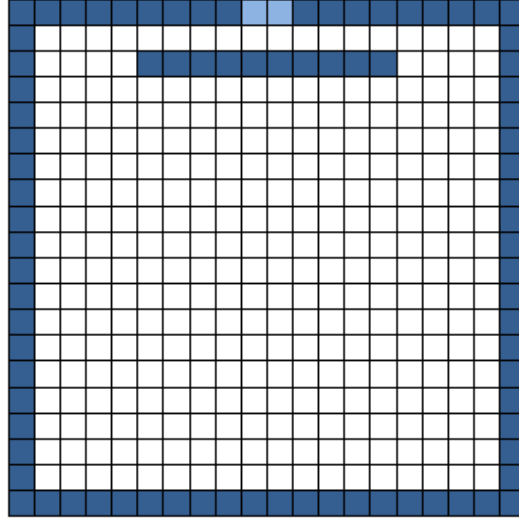
Şekil 4.9'daki tahliyenin farklı feromon buharlaşma oranlarıyla nasıl değiştiğini gösteren grafikte, engel olmayan duruma göre buharlaşma etkisinin tahliye üzerinde daha az etkin olduğu gözlenmektedir.



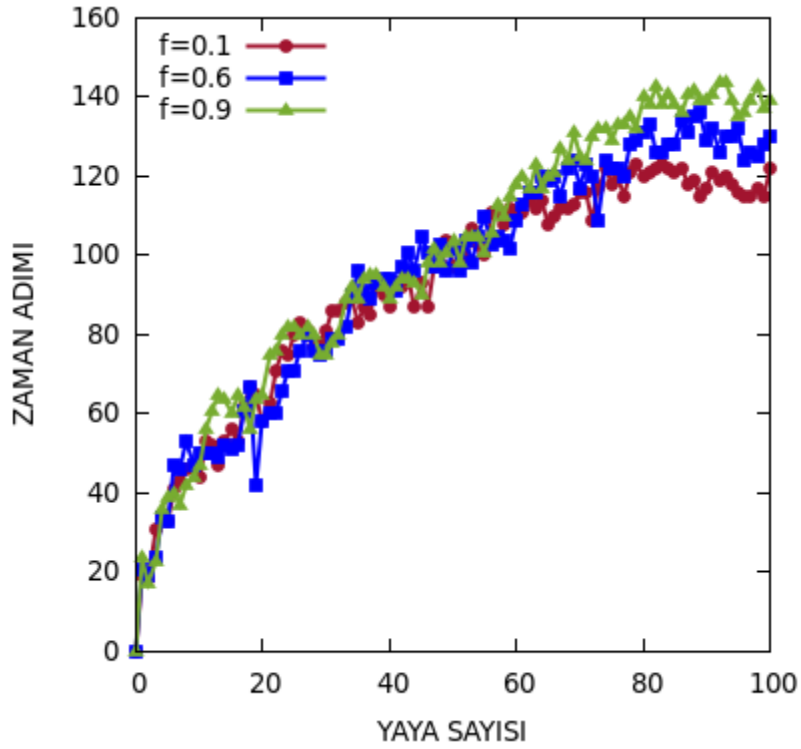
Şekil 4.10. $f=0.1$ için yaya sayısının 120 olduğu, kapıya bir birim uzaklıkta on birim uzunluğunda bir engelin var olduğu bir tahliye sürecinin anlık durum görüntüsü (a)t=0, (b)t=4, (c)t=8, (d)t=12, (e)t=16, (f)t=20, (g)t=24, (h)t=28, (i)t=32.

Statik zemin alanı değeri Manhattan metoduyla hesaplanmıştır. Metotta kullanılan hücre değerleri Ek C’de görüldüğü gibidir.

Engel uzunluğu on birim hücre olduğunda engel uzunluğunun artışıyla birlikte oluşan kulvarların engelden sonraki ‘koridor’ şeklindeki çıkış civarında genişlediği gözlenmektedir. Engelin boyu sebebiyle çıkış kapısından önceki koridor şeklindeki yapının uzunluğunun bu şekilde neticelenebileceği düşünülmektedir.

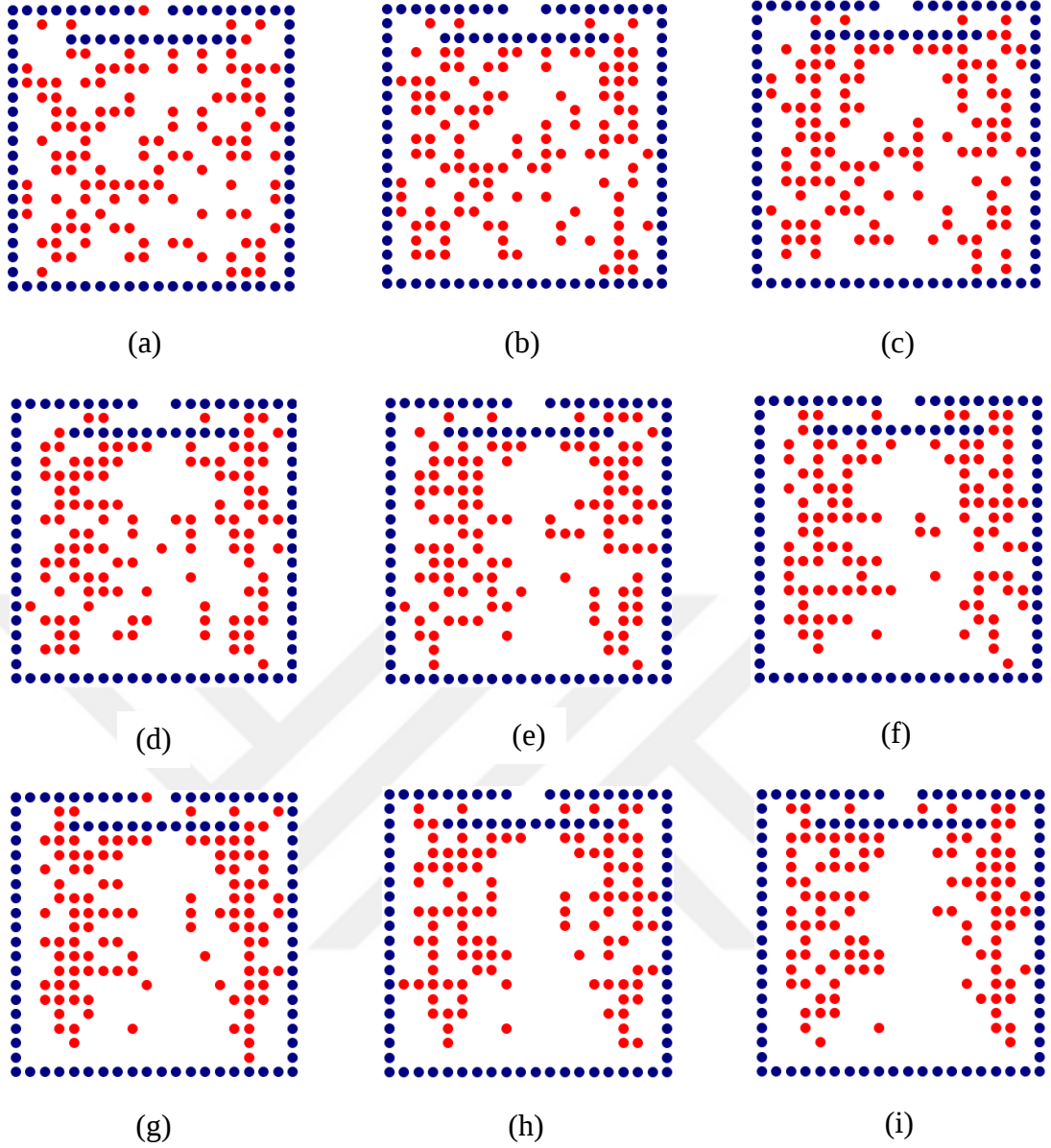


Şekil 4.11. (20x20) birim hücre büyüklüğünde, kapıya bir birim uzaklıkta on birim uzunluğunda bir engelin var olduğu, iki birim hücrelik tek çıkışlı odanın şematik gösterimi.



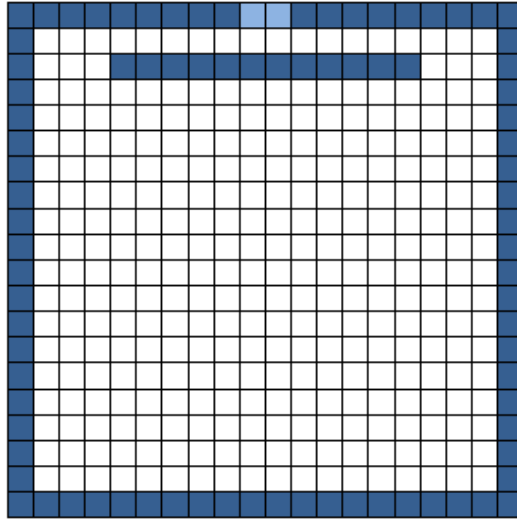
Şekil 4.12. Feromon buharlaşma oranındaki değişimin kapıya bir birim uzaklıkta on birim uzunluğunda bir engelin var olduğu durumda tahliye süresi üzerindeki etkisi.

Şekil (4.12)'deki grafiğe bakıldığında feromon buharlaşma oranının yaya sayısının yüksek olduğu durumlarda süre üzerinde etkili olduğu görülmektedir.

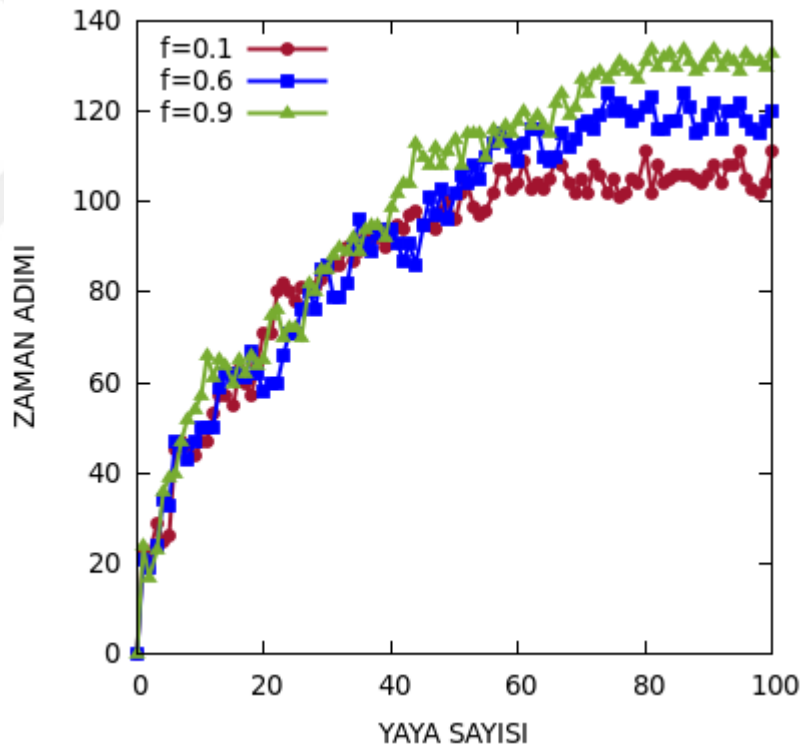


Şekil 4.13. $f=0.1$ için yaya sayısının 120 olduğu, kapıya bir birim uzaklıkta on iki birim uzunluğunda bir engelin var olduğu bir tahliye sürecinin anlık durum görüntüsü (a) $t=0$, (b) $t=4$, (c) $t=8$, (d) $t=12$, (e) $t=16$, (f) $t=20$, (g) $t=24$, (h) $t=28$, (i) $t=32$.

Statik zemin alanı değeri Manhattan metoduyla hesaplanmış, bu metotla belirlenen hücre değerleri Ek D’de verilmiştir. On iki birim hücrelik engel var olduğunda Şekil 4.13’teki anlık durum görüntüsüne bakıldığında engelden sonraki, engel boyunun uzunluğu sebebiyle ‘çıkış koridoru’ biçimini almış tahliye bölgesinin varlığının tahliyeyi etkilediği görülmektedir. Engel boyunun uzamasıyla, on birim hücrelik engelden farklı olarak, panik sebebiyle oluşan kargaşanın engelden önce meydana geldiği ve bunun da toplam tahliye süresinde değişikliğe sebep olabileceği düşünülmektedir.

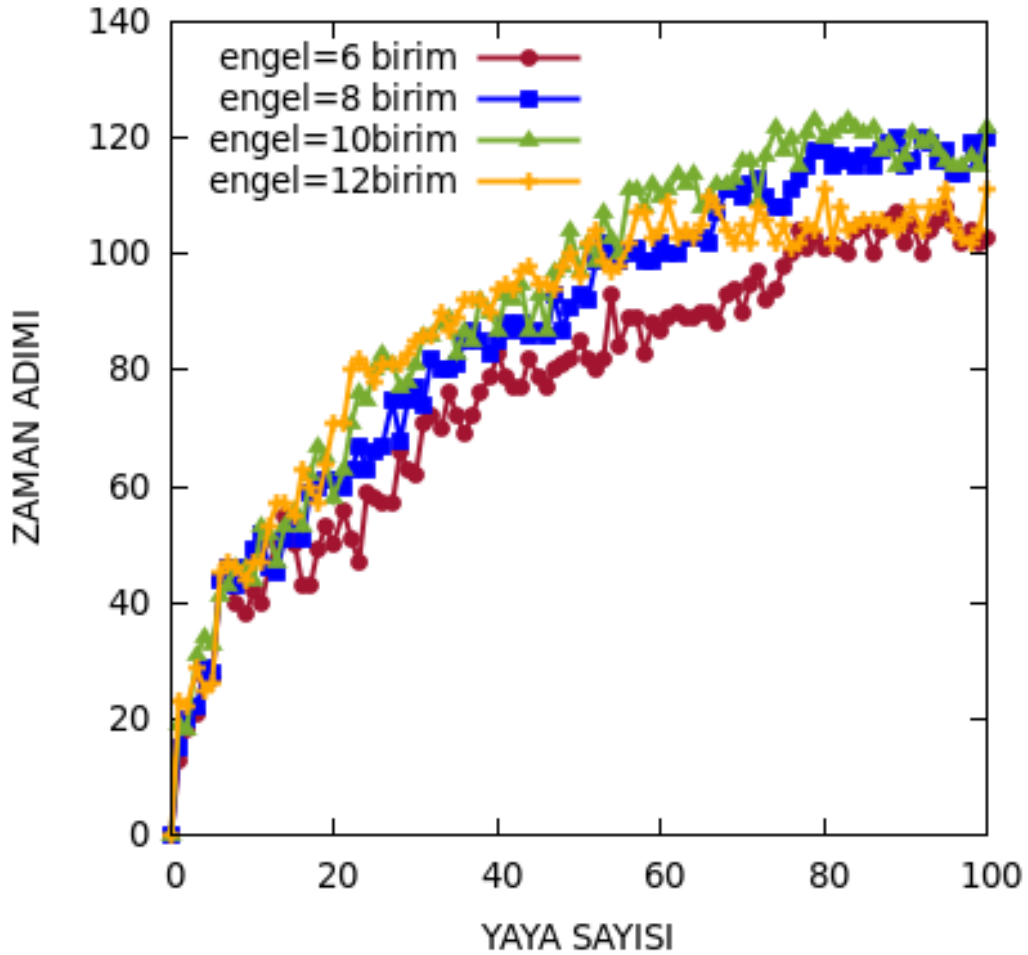


Şekil 4.14. (20x20) birim hücre büyüklüğünde, kapıya bir birim uzaklıkta on iki birim uzunluğunda bir engelin var olduğu, iki birim hücrelik tek çıkışlı odanın şematik gösterimi.



Şekil 4.15. Feromon buharlaşma oranındaki değişimin kapıya bir birim uzaklıkta on iki birim uzunluğunda bir engelin var olduğu durumda tahliye süresi üzerindeki etkisi.

Grafiğe bakıldığında, feromon etkisinin başlangıç yaya sayısının az olduğu durumlarda dahi gözlenmekte olduğu, bunun neticesinde de bu etkinin tahliye süresi eğrisinde yavaş bir artışa (monoton artan eğri) sebep olduğu düşünülmektedir.

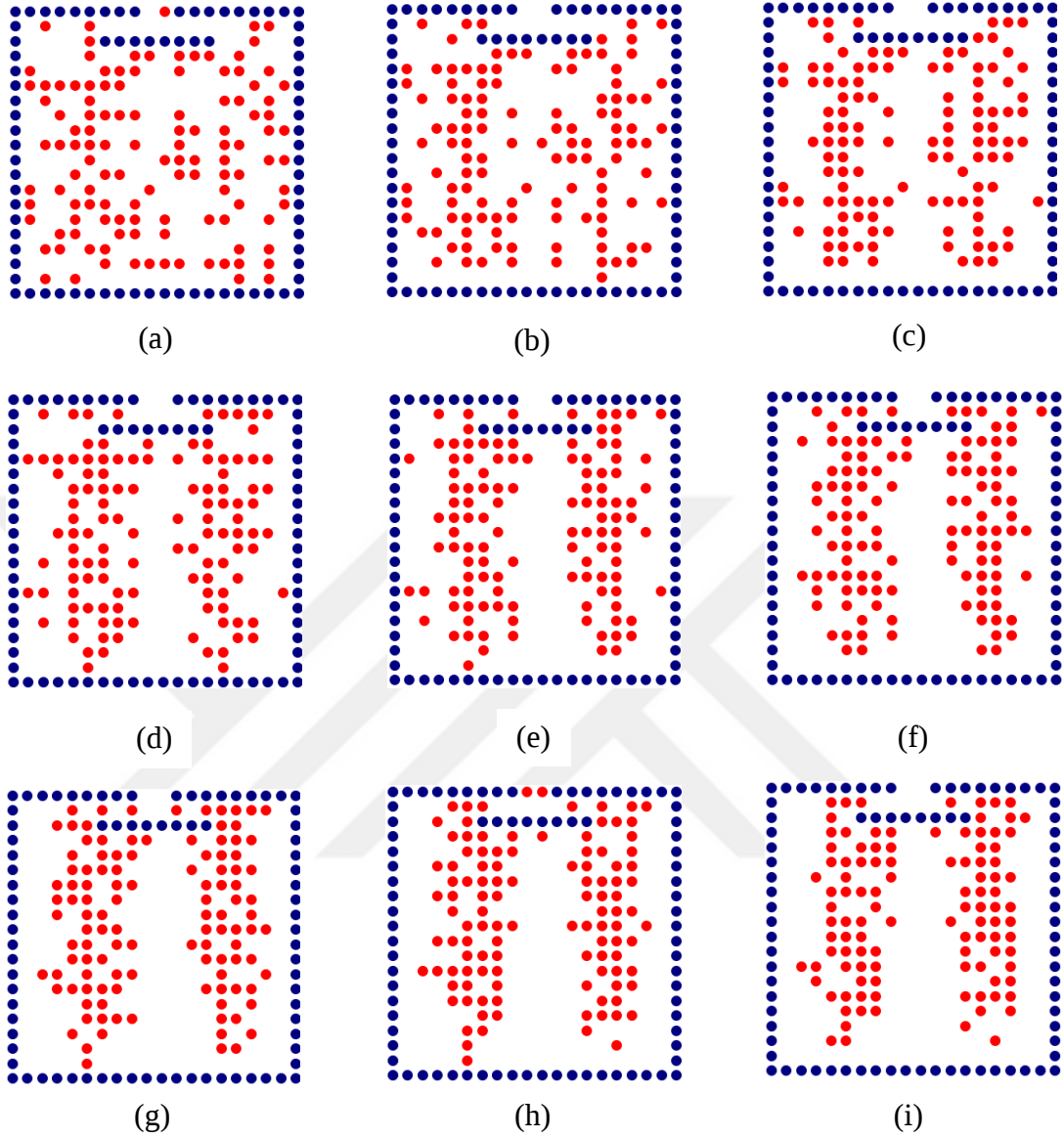


Şekil 4.16. Odada var olan engelin boyunun tahliye süresi üzerindeki etkisi.

Feromon buharlaşma oranının $f=0.1$ olduğu durumda engel boyunun tahliye üzerindeki etkisi Şekil 4.16'daki grafikte görüldüğü gibidir.

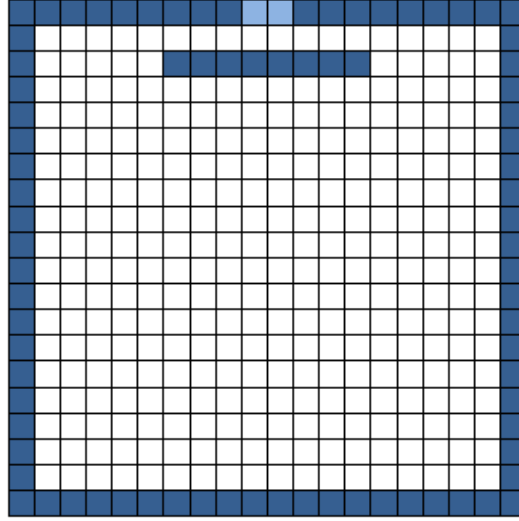
Engel boyunun altı birim hücre olduğu durumda en hızlı tahliyenin gözlemlendiği, engel boyu uzadıkça tahliye süresinin arttığı görülmektedir. Ancak engel boyunun uzamaya devam etmesiyle başlangıçta daha fazla yayanın mevcut olduğu durumda (on birim hücrelik engelin var olduğu durumda seksen yayadan itibaren) tahliye süresi azalırken, engel boyu on iki birim hücre olduğunda tahliye süresindeki azalışın daha az yoğunlukta (başlangıçta kırk tane yayanın olmasından itibaren) gerçekleştiği gözlenmektedir. Bu durumun, kapıya bir birim uzaklıktaki engelin boyca uzamasıyla, odadan tahliyenin çıkış kapısından önce bir koridoru geçmeyi gerektirmesi ve bu koridordaki uzunluk artışının tahliyede bir düzeni sağlaması sebebiyle gerçekleştiği düşünülmektedir.

b) Engelin Konumunun Tahliye Üzerindeki Etkisi

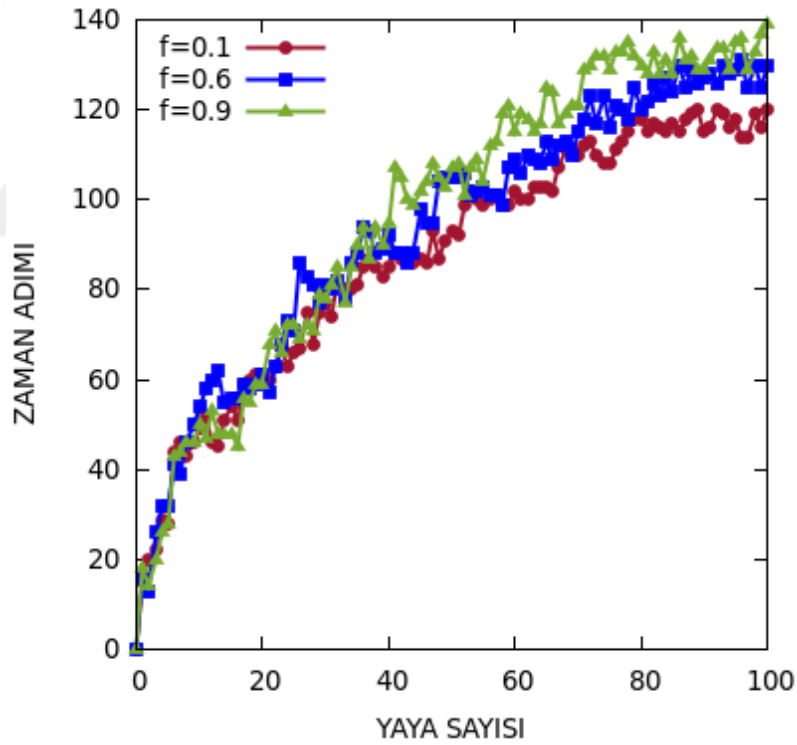


Şekil 4.17. $f=0.1$ için yaya sayısının 120 olduğu, kapıya bir birim uzaklıkta sekiz birim uzunluğunda bir engelin var olduğu bir tahliye sürecinin anlık durum görüntüsü (a) $t=0$, (b) $t=4$, (c) $t=8$, (d) $t=12$, (e) $t=16$, (f) $t=20$, (g) $t=24$, (h) $t=28$, (i) $t=32$.

Statik zemin alanı Manhattan metoduyla hesaplanmış olup hücrelerin değerleri Ek B’de görülen şekildedir. Kapıya bir birim uzaklıkta sekiz birim hücre uzunluğunda bir engelin varlığındaki tahliyenin Şekil 4.17’deki anlık durum görüntüsüne bakıldığında engel-kapı arasındaki mesafenin az olması sebebiyle engelin oluşturduğu kısa koridor şeklindeki çıkışı kullanmak isteyen yayaların engel civarında durakladıkları görülmektedir. Bu duraklamanın tahliye süresini etkilemesi beklenmektedir.

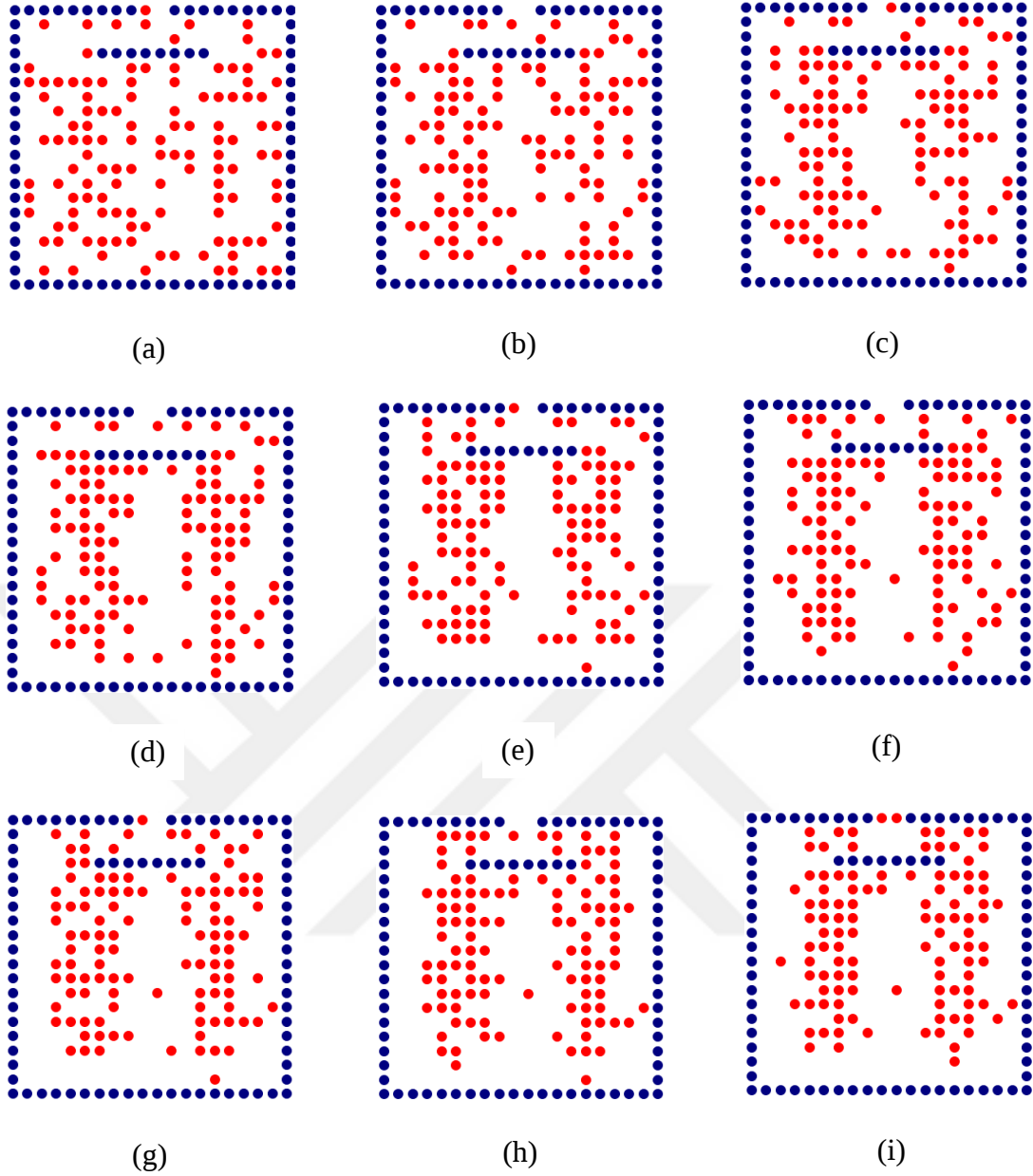


Şekil 4.18. (20x20) birim hücre büyüklüğünde, kapıya bir birim uzaklıkta sekiz birim uzunluğunda bir engelin var olduğu, iki birim hücrelik tek çıkışlı odanın şematik gösterimi.



Şekil 4.19. Feromon buharlaşma oranındaki değişimin kapıya bir birim uzaklıkta sekiz birim uzunluğunda bir engelin var olduğu durumda tahliye süresi üzerindeki etkisi.

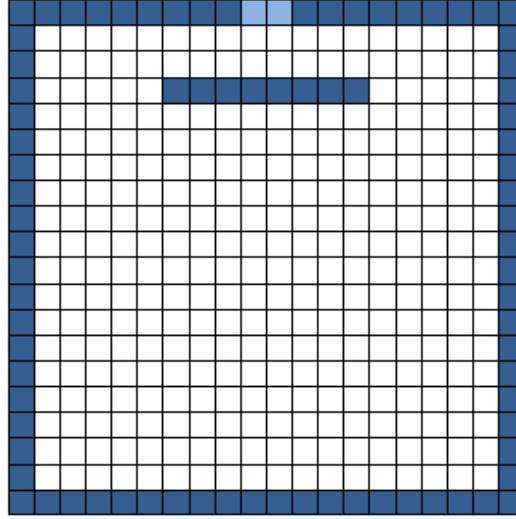
Tahliyenin farklı feromon buharlaşma oranlarıyla nasıl değiştiğinin gösterildiği Şekil 4.19'daki grafiğe bakıldığında beklendiği şekilde feromon buharlaşma oranı arttıkça tahliye süresinin de uzadığı görülmektedir.



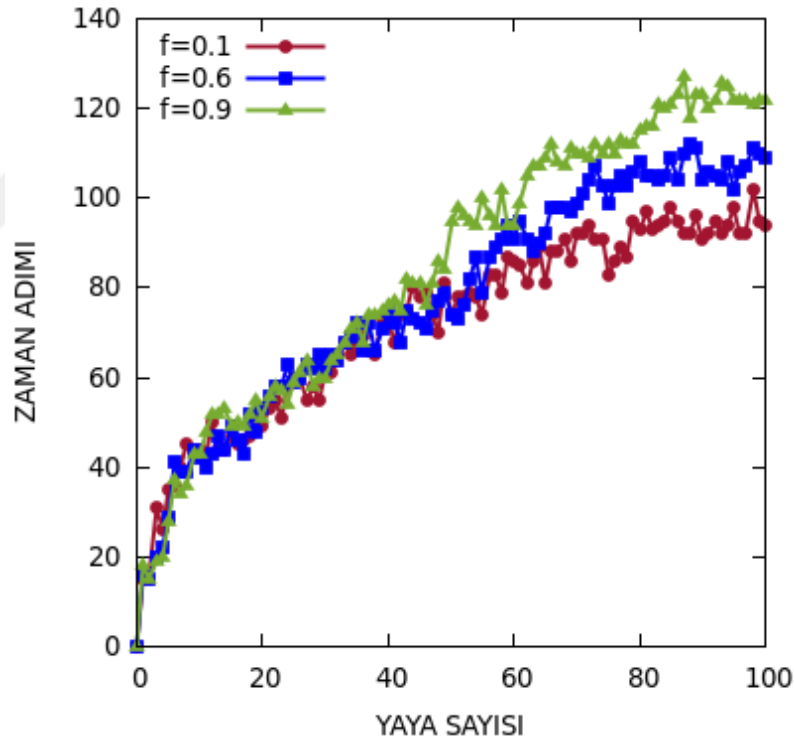
Şekil 4.20. $f=0.1$ için yaya sayısının 120 olduğu, kapıya iki birim uzaklıkta sekiz birim uzunluğunda bir engelin var olduğu bir tahliye sürecinin anlık durum görüntüsü (a) $t=0$, (b) $t=4$, (c) $t=8$, (d) $t=12$, (e) $t=16$, (f) $t=20$, (g) $t=24$, (h) $t=28$, (i) $t=32$.

Manhattan metoduyla hesaplanan statik zemin alanı değerleri Ek E’de verilmiştir.

Engel-kapı uzaklığının tahliye üzerindeki etkisinin incelenmesi amacıyla çizdirilen Şekil 4.20’deki anlık durum görüntülerine bakıldığında yayaların tahliye süreci başladığında iki ayrı kulvara ayrıldığı ve engel-kapı arasındaki bölgede bu durumun bozulmadığı gözlenmektedir.

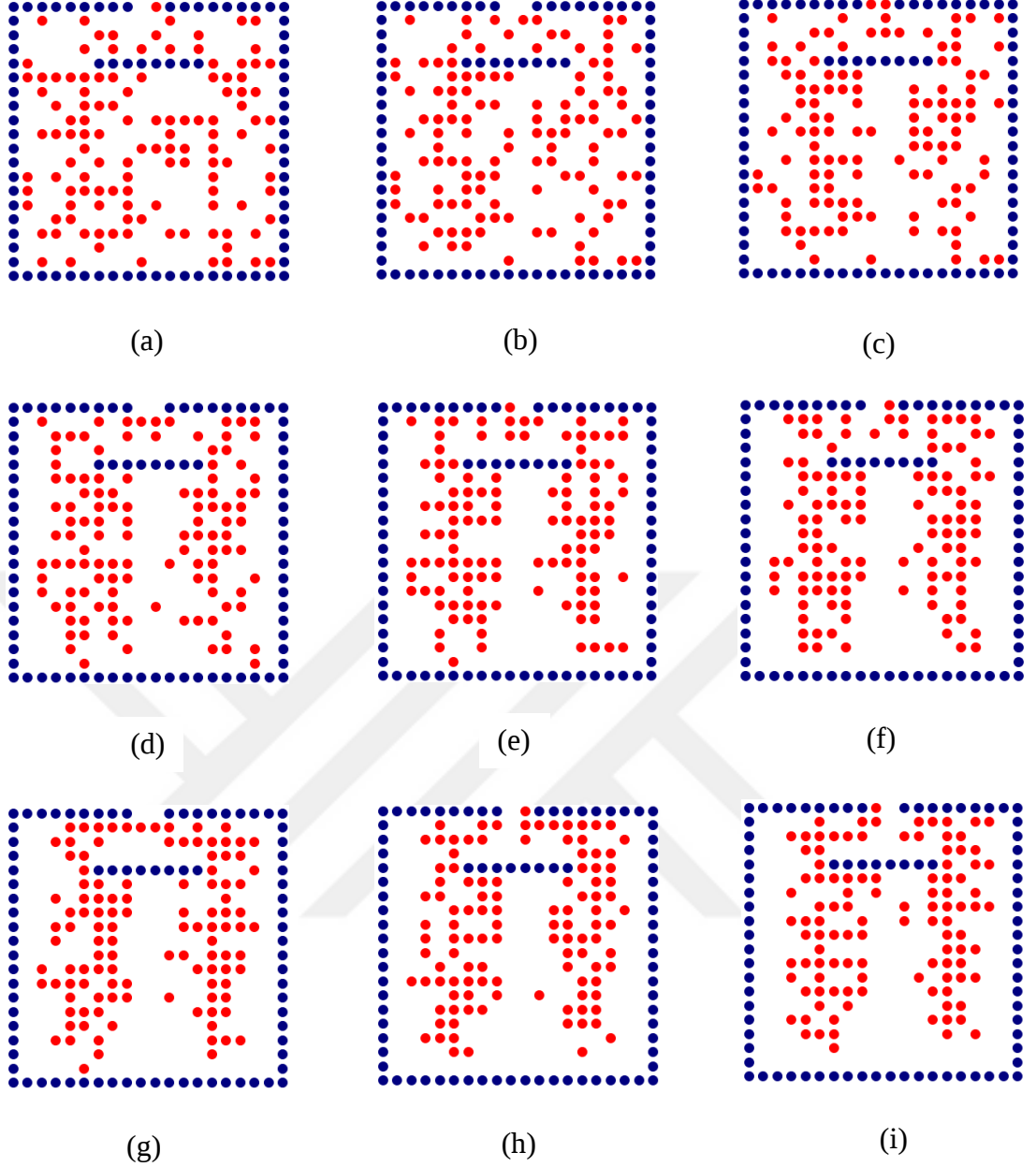


Şekil 4.21. (20x20) birim hücre büyüklüğünde, kapıya iki birim uzaklıkta sekiz birim uzunluğunda bir engelin var olduğu, iki birim hücrelik tek çıkışlı odanın şematik gösterimi.



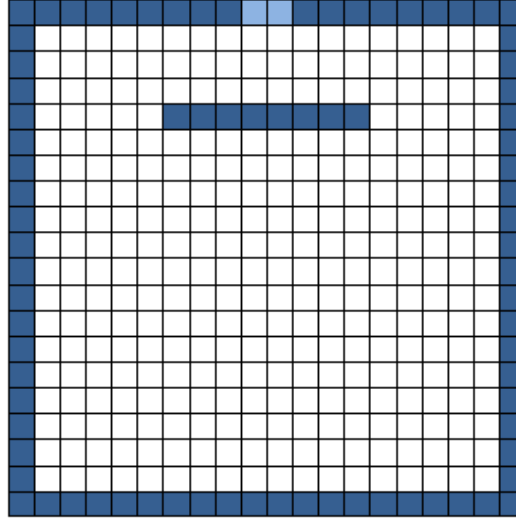
Şekil 4.22. Feromon buharlaşma oranındaki değişimin kapıya iki birim uzaklıkta sekiz birim uzunluğunda bir engelin var olduğu durumda tahliye süresi üzerindeki etkisi.

Çıkışa iki birim uzaklıkta sekiz birim uzunluğundaki engelin tahliyeyi hızlandırmasının yanı sıra feromon buharlaşma oranının değişiminden kaynaklanan tahliye süreleri farkını da artırdığı görülmektedir.

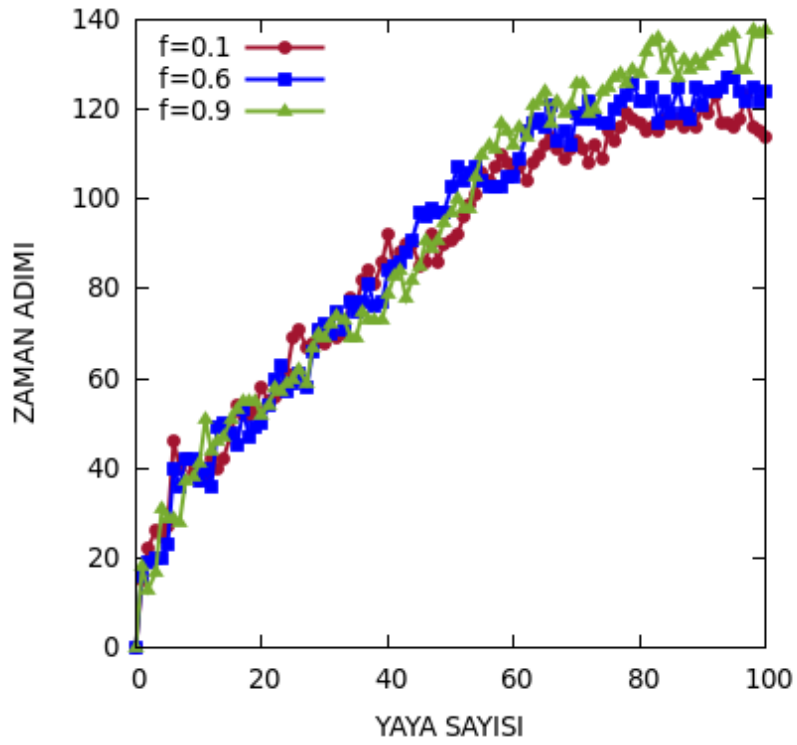


Şekil 4.23. $f=0.1$ için yaya sayısının 120 olduğu, kapıya üç birim uzaklıkta sekiz birim uzunluğunda bir engelin var olduğu bir tahliye sürecinin anlık durum görüntüsü (a) $t=0$, (b) $t=4$, (c) $t=8$, (d) $t=12$, (e) $t=16$, (f) $t=20$, (g) $t=24$, (h) $t=28$, (i) $t=32$.

Statik zemin alanı değeri Manhattan metoduyla hesaplanmıştır ve hücre değerleri Ek F’de gösterilmiştir. Sekiz birim hücrelik bir engelin kapıya üç birim uzaklığa konumlandırılmasıyla tahliyenin nasıl değiştiğinin gözlemlenebildiği Şekil 4.23’teki anlık durum görüntülerine bakıldığında kulvarlara ayrılan yayaların engel-kapı arasında tekrar bir araya geldikleri ve engelin varlığıyla sağlanan düzenli tahliye durumunun bozulduğu görülmektedir. Sağlanan düzenin bozulmasıyla birlikte engelin tahliye üzerindeki olumlu etkisi de azalmıştır.

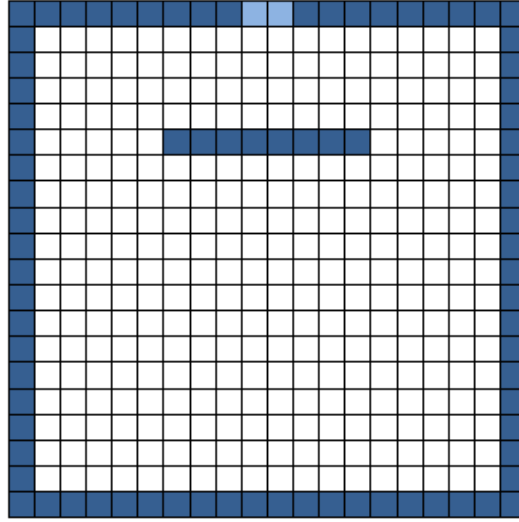


Şekil 4.24. (20x20) birim hücre büyüklüğünde, kapıya üç birim uzaklıkta sekiz birim uzunluğunda bir engelin var olduğu, iki birim hücrelik tek çıkışlı odanın şematik gösterimi.

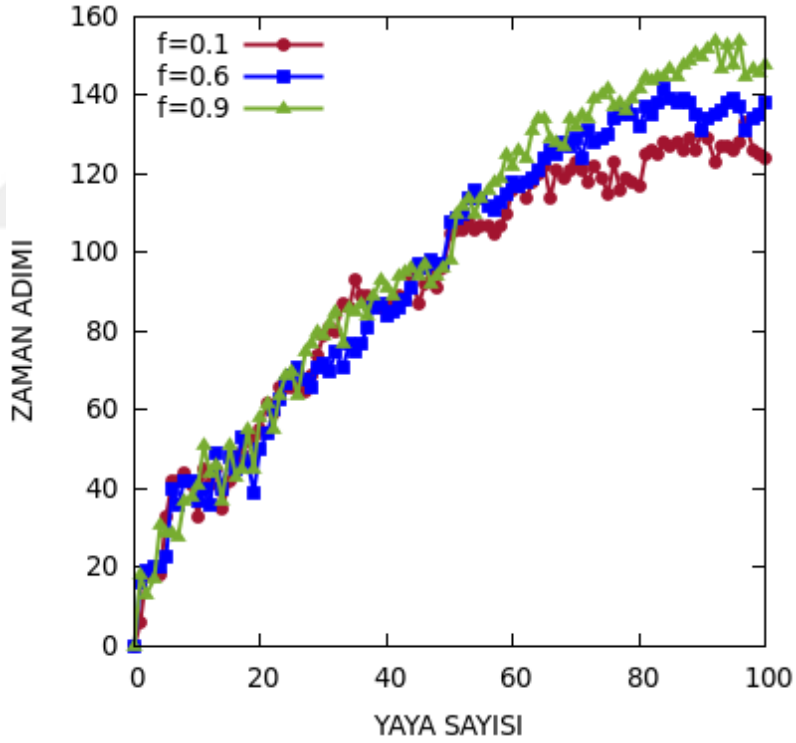


Şekil 4.25. Feromon buharlaşma oranındaki değişimin kapıya üç birim uzaklıkta sekiz birim uzunluğunda bir engelin var olduğu durumda tahliye süresi üzerindeki etkisi.

Şekil 4.25'teki zaman adımı-yaya sayısı grafiğine bakıldığında feromon buharlaşma oranları farkının yaya sayısının yoğun olduğu tahliyelerde beklendiği şekilde olduğu (oran arttıkça tahliye süresi artar) görülmektedir.

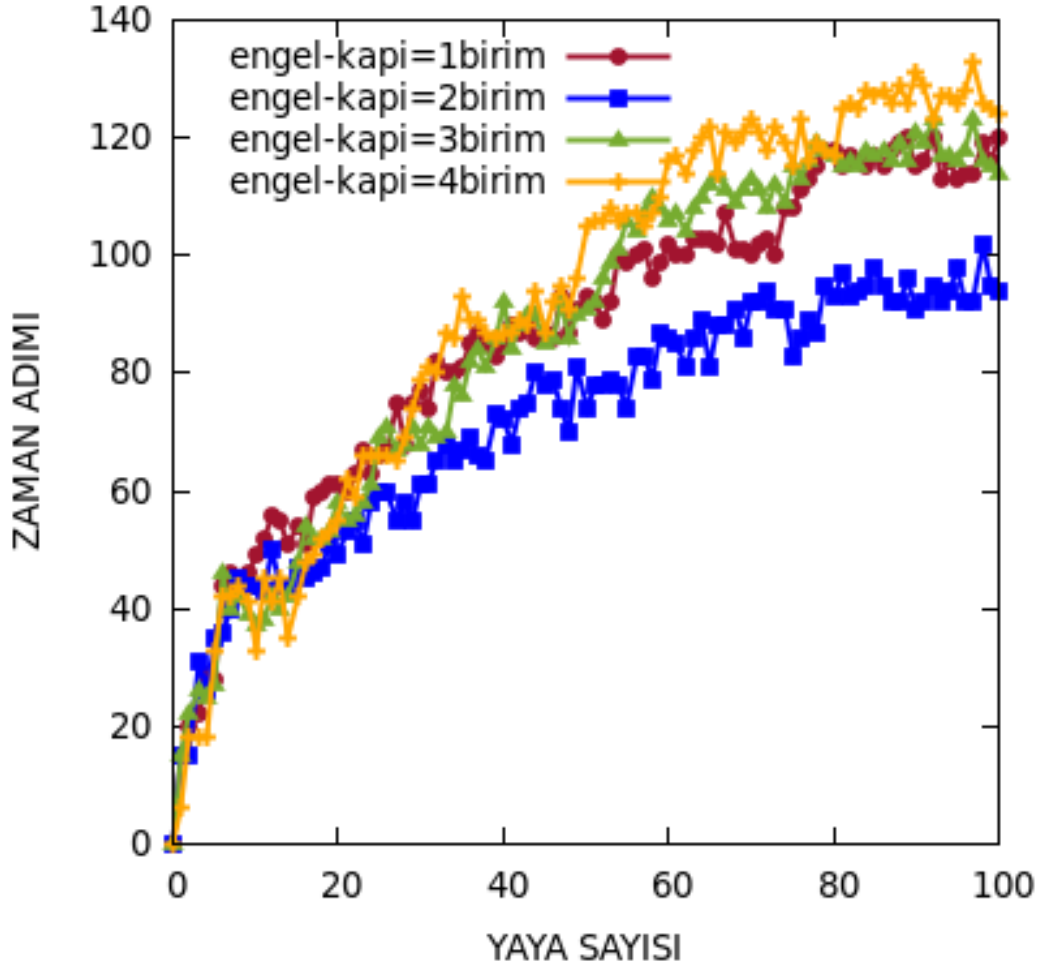


Şekil 4.27. (20x20) birim hücre büyüklüğünde, kapıya dört birim uzaklıkta sekiz birim uzunluğunda bir engelin var olduğu, iki birim hücrelik tek çıkışlı odanın şematik gösterimi.



Şekil 4.28. Feromon buharlaşma oranındaki değişimin kapıya dört birim uzaklıkta sekiz birim uzunluğunda bir engelin var olduğu durumda tahliye süresi üzerindeki etkisi.

Şekil 4.28’de görülen engelin tahliyeyi yavaşlatmasının nedeninin, engel ve ‘hayali feromon’ etkisiyle engelden önceki alanda kulvarlara ayrılan yayaların, bu düzeni engel-kapı arasında kaybetmesi olabileceği düşünülmektedir.

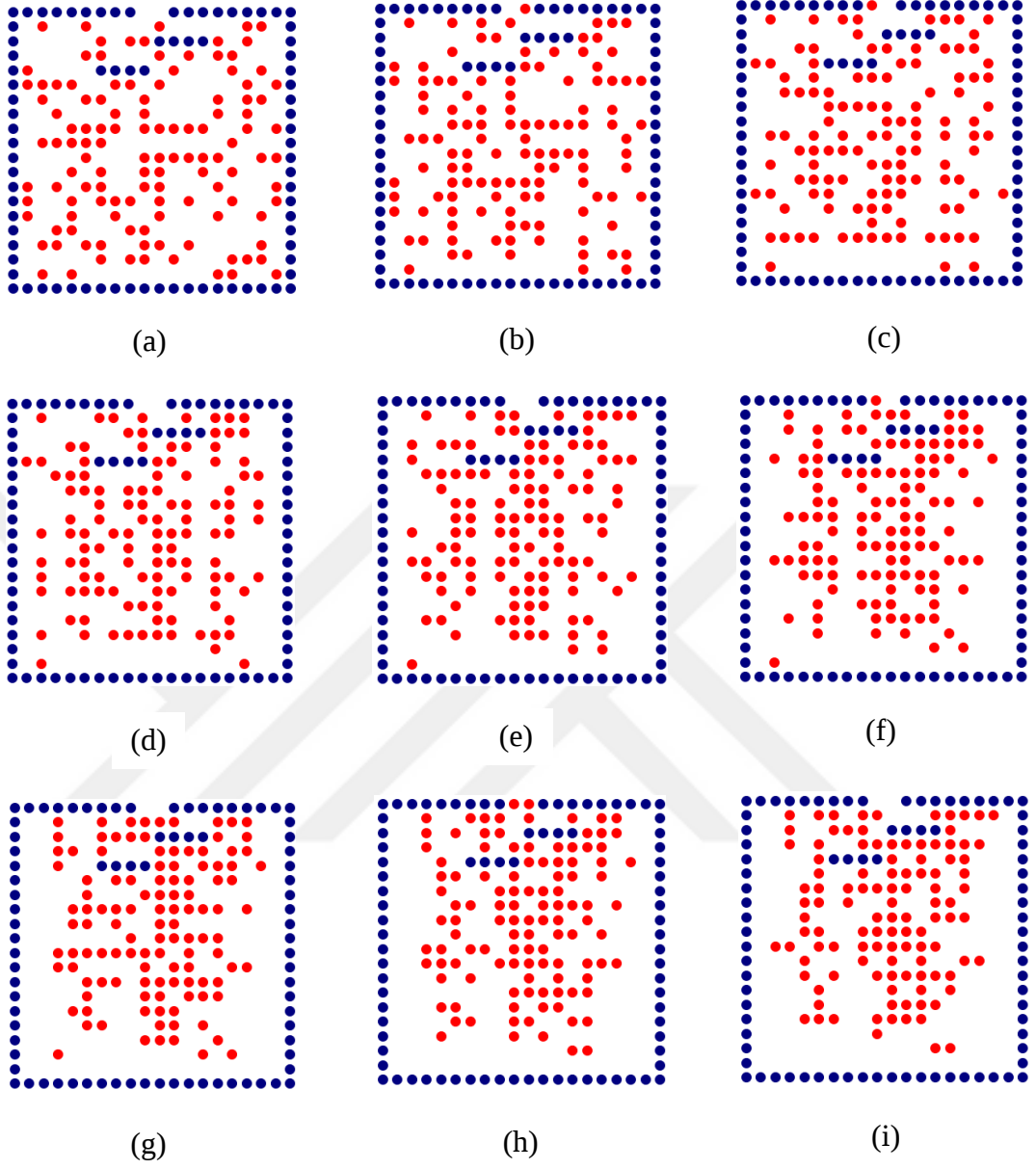


Şekil 4.29. Odada var olan engelin kapıya olan uzaklığının tahliye süresi üzerindeki etkisi.

Feromon buharlaşma oranının $f=0.1$ olduğu durumda engel-kapı arasındaki mesafe değişiminin tahliye üzerindeki etkisi Şekil 4.29'daki grafikte görüldüğü gibidir.

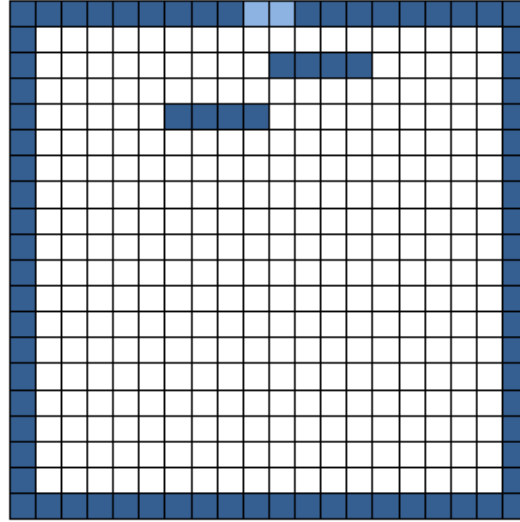
Engel-kapı arası mesafenin iki birim hücre olması durumunda en hızlı tahliyenin gözlendiği, mesafe arttıkça tahliye süresinin de uzadığı görülmektedir. Ancak mesafenin en kısa olduğu engel konumlandırmasında beklendiği gibi mesafenin iki birim hücre olduğu durumdan daha hızlı gerçekleşen bir tahliye eğrisi elde edilmemiştir. Bunun sebebinin, engeli geçen yayaların tahliyesinde, engelin tahliyeye düzen getirmesinden çok, dar bir koridor görevi görerek yavaşlamaya sebep olması ve bu yavaşlamayla birlikte engel civarında toplam tahliye süresinin uzamasıyla neticelenen bir sıkışıklığın meydana gelmesi olduğu düşünülmektedir.

c) Engelin Şeklinin Tahliye Üzerindeki Etkisi

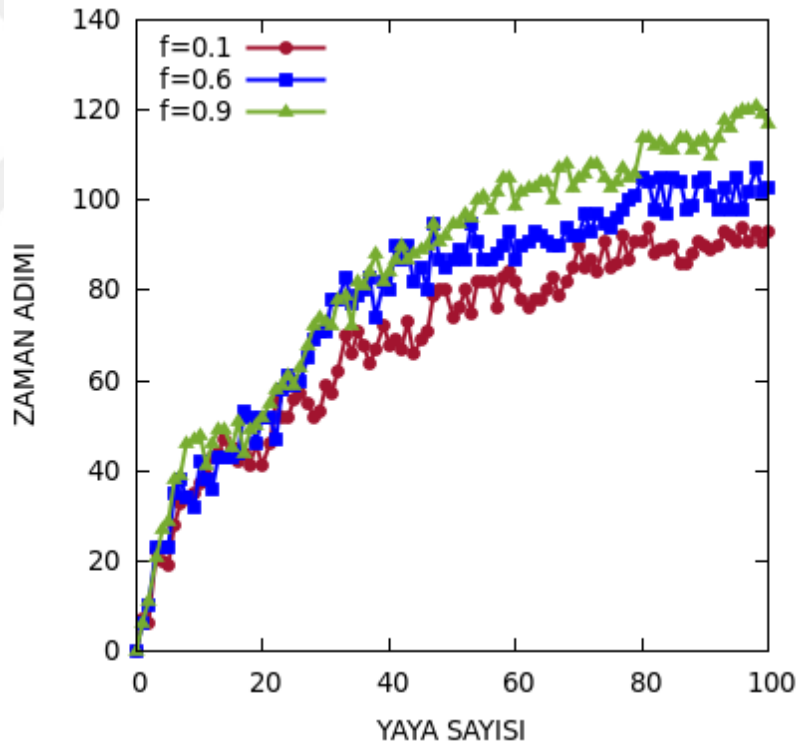


Şekil 4.30. $f=0.1$ için yaya sayısının 120 olduğu, asimetrik bir engelin varlığında tahliye sürecinin anlık durum görüntüsü (a) $t=0$, (b) $t=4$, (c) $t=8$, (d) $t=12$, (e) $t=16$, (f) $t=20$, (g) $t=24$, (h) $t=28$, (i) $t=32$.

Statik zemin alanı Manhattan metoduyla hesaplanmıştır ve hücre değerleri Ek H’de verilmiştir. Anlık durum görüntüleri Şekil 4.30’daki gibi olan dörder birimlik iki parçalı asimetrik şekilde konumlandırılmış engelin varlığının tahliye sırasında, yoğunlukla engeller arası bölge olmakla beraber engellerin kenarlarında da bir düzen sağladığı görülmektedir.

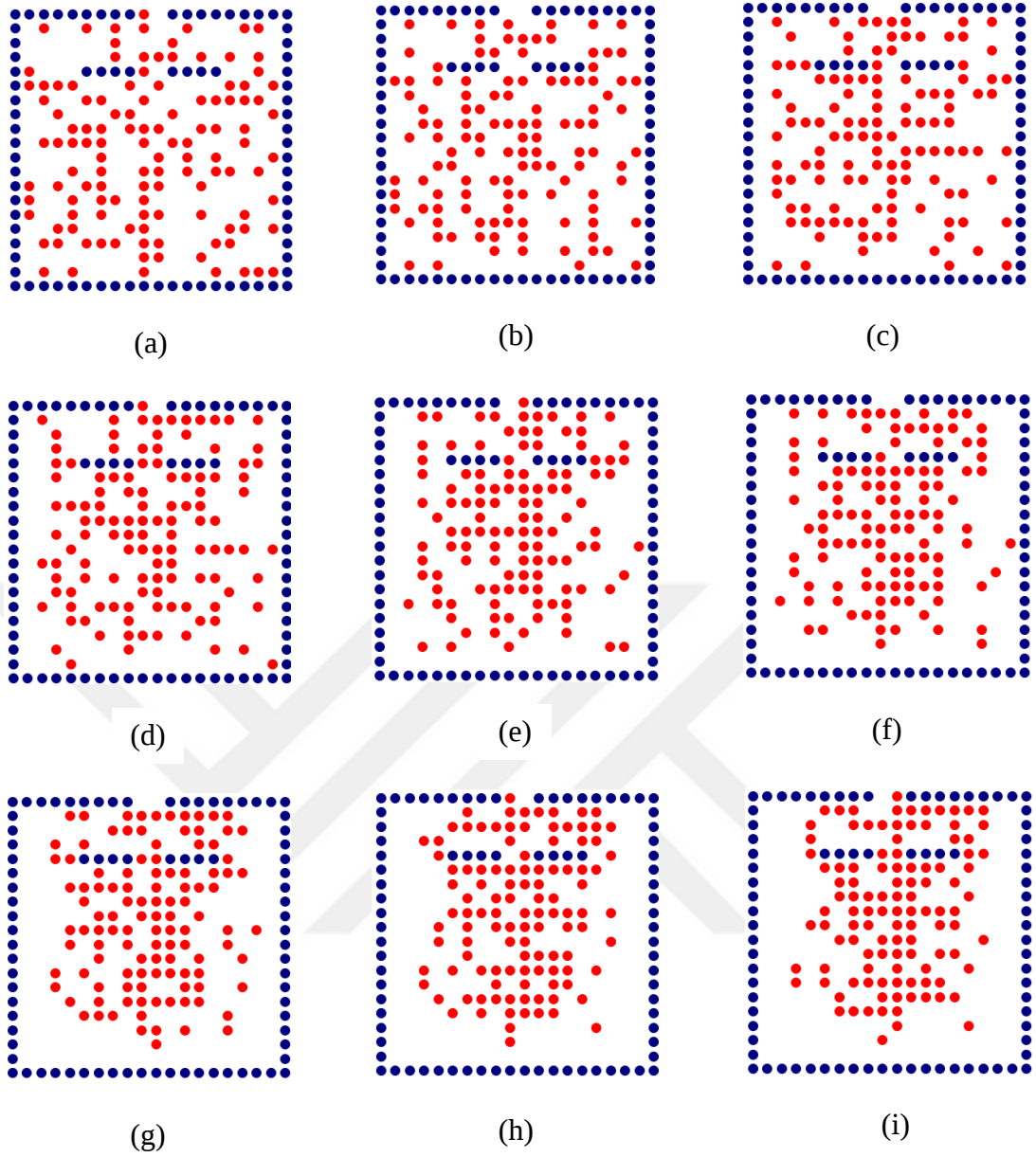


Şekil 4.31. (20x20) birim hücre büyüklüğünde asimetric bir engelin var olduğu iki birim hücrelik tek çıkışlı odanın şematik gösterimi.



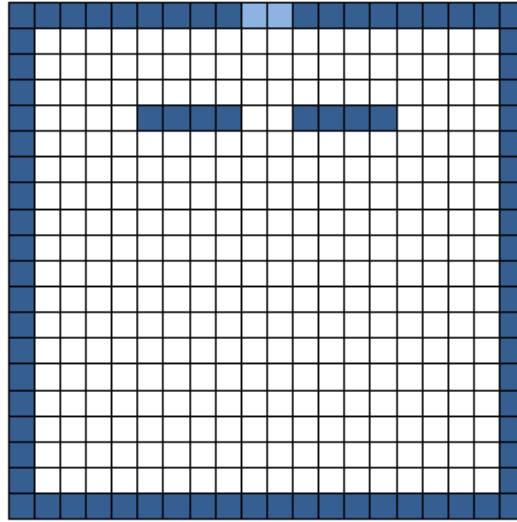
Şekil 4.32. Feromon buharlaşma oranındaki değişimin asimetric bir engelin var olduğu durumda tahliye süresi üzerindeki etkisi.

Asimetrik şekilde konumlandırılmış engele ait Şekil 4.32'deki grafikten buharlaşma oranları değişiminin tahliye üzerindeki etkisi, yaya sayısının düşük olduğu değerlerden itibaren, net bir biçimde görülmektedir.

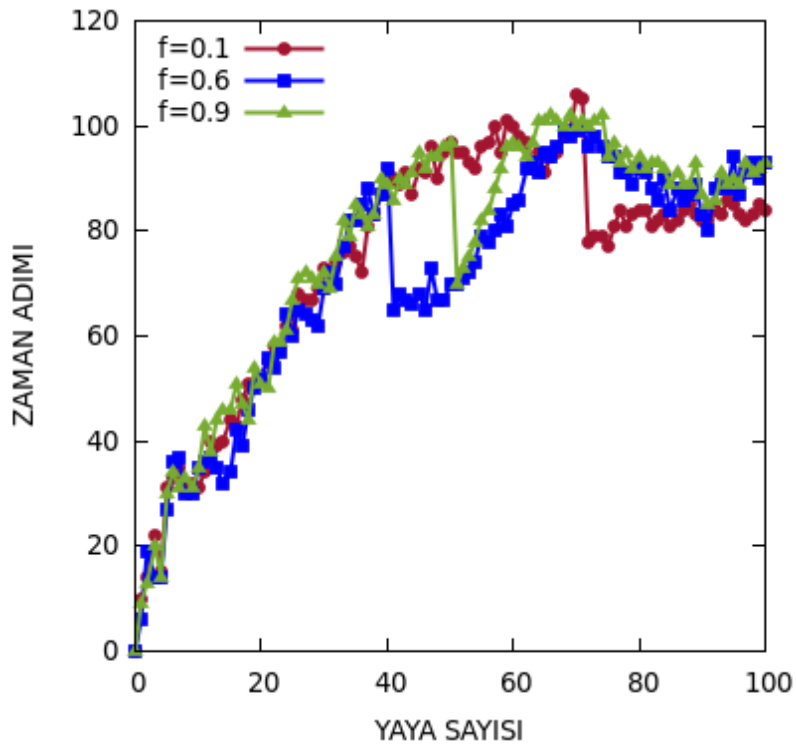


Şekil 4.33. $f=0.1$ için yaya sayısının 120 olduğu, simetrik bir engelin varlığında tahliye sürecinin anlık durum görüntüsü (a) $t=0$, (b) $t=4$, (c) $t=8$, (d) $t=12$, (e) $t=16$, (f) $t=20$, (g) $t=24$, (h) $t=28$, (i) $t=32$.

Hücrelerin statik zemin alanı değerleri Manhattan metoduyla hesaplanmış ve Ek I'da verilmiş olup simülasyon sonucu çizdirilen anlık durum görüntüleri Şekil 4.33'deki gibidir. Görüntülere bakıldığında başlangıçta odaya rastgele yerleştirilmiş yayaların, engellerin kapıya simetrik şekilde konumlandırılmasıyla, engeller arasındaki iki birim hücrelik dar geçit sebebiyle çıkış güzergahında düzenli bir kulvar oluşturdukları görülmektedir.

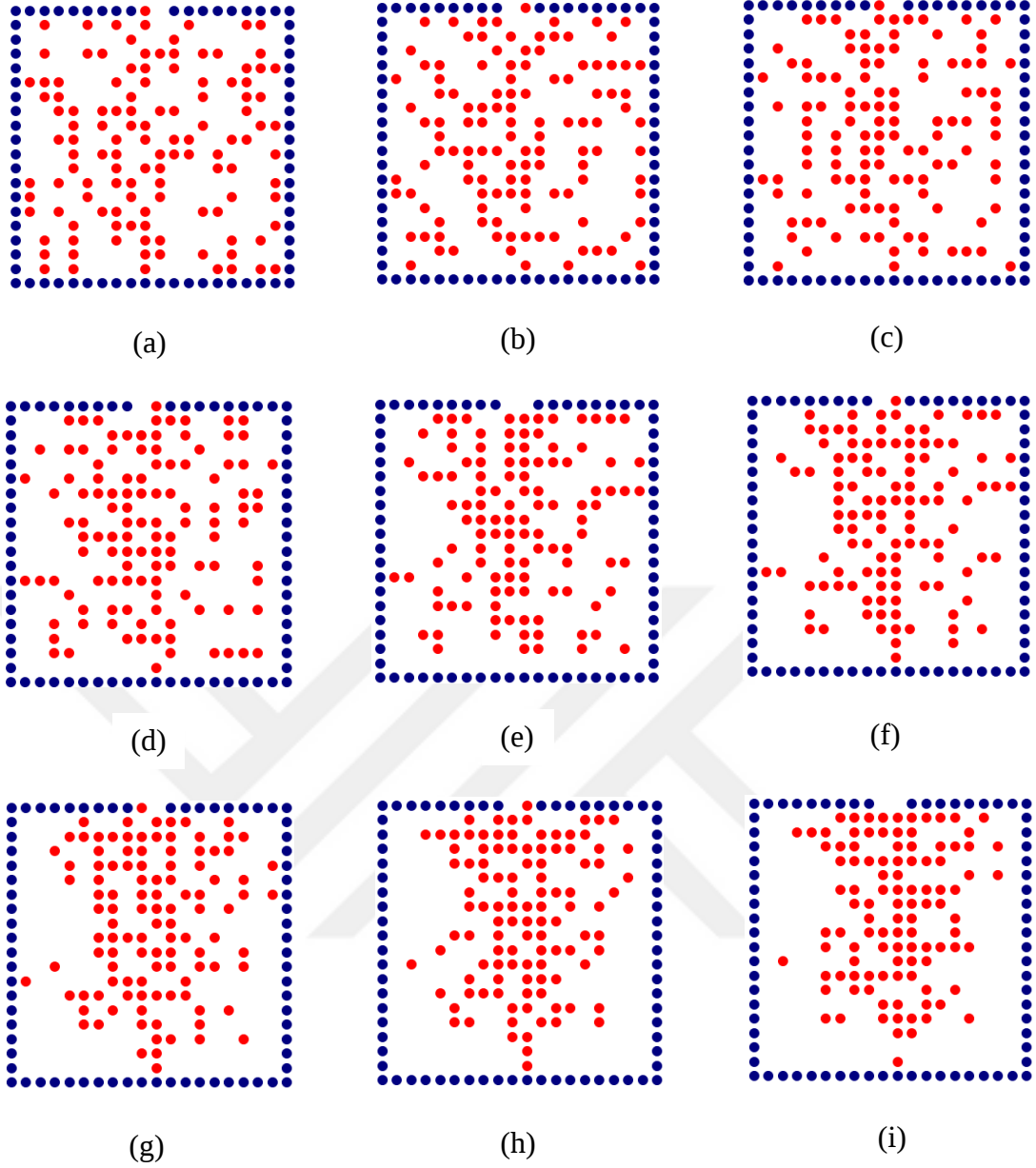


Şekil 4.34. (20x20) birim hücre büyüklüğünde simetrik bir engelin var olduğu iki birim hücrelik tek çıkışlı odanın şematik gösterimi.



Şekil 4.35. Feromon buharlaşma oranındaki değişimin simetrik bir engelin var olduğu durumda tahliye süresi üzerindeki etkisi.

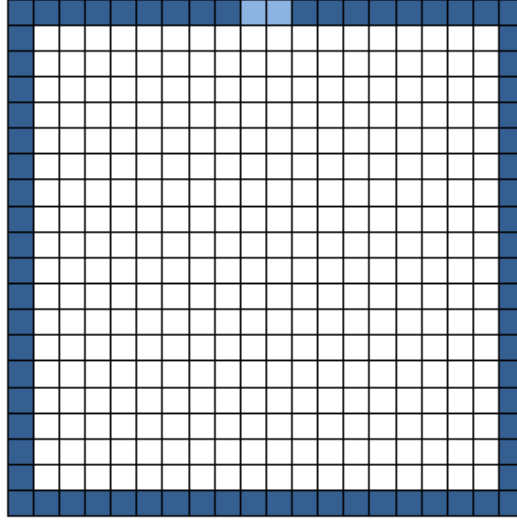
Şekil 4.35'te her bir feromon buharlaşma oranı için eğrilerde gözlenen farklı yaya sayılarındaki ani düşüşler, tahliye esnasında faz geçişleri olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda engel geometrisi sebebiyle yayaların 'takip etme eğilimlerini' feromondan ziyade tahliye kulvarına göre belirlediği de anlaşılmaktadır.



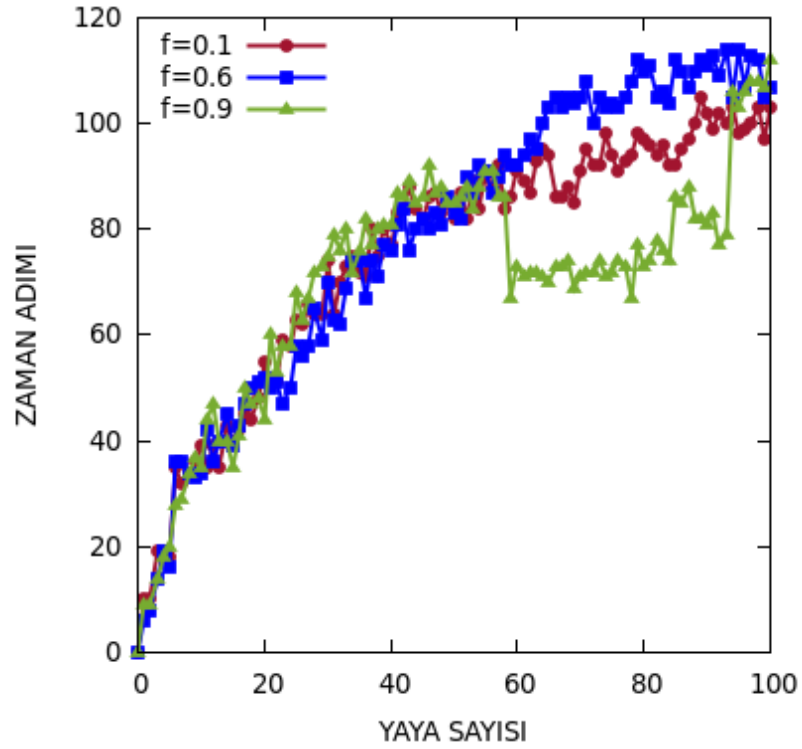
Şekil 4.36. $f=0.1$ için yaya sayısının 120 olduğu, ortamda herhangi bir engelin mevcut olmadığı tahliye sürecinin anlık durum görüntüsü (a) $t=0$, (b) $t=4$, (c) $t=8$, (d) $t=12$, (e) $t=16$, (f) $t=20$, (g) $t=24$, (h) $t=28$, (i) $t=32$.

Manhattan metoduyla hesaplanan, hücrelere ait statik zemin alanı değerleri Ek K’de verilmiştir.

Anlık durum görüntüleri Şekil 4.36’daki gibi olan, odada hiçbir engelin bulunmadığı bu tahliye sürecinde, yayaaların çıkış kapısı güzergahında bir tahliye kulvarı oluşturdukları görülmektedir. Bu kulvar oluşumunun esas sebebi, hücrelerin belirlenen statik zemin alanı değerleridir ve ilgili ekte durum açıkça görülmektedir.

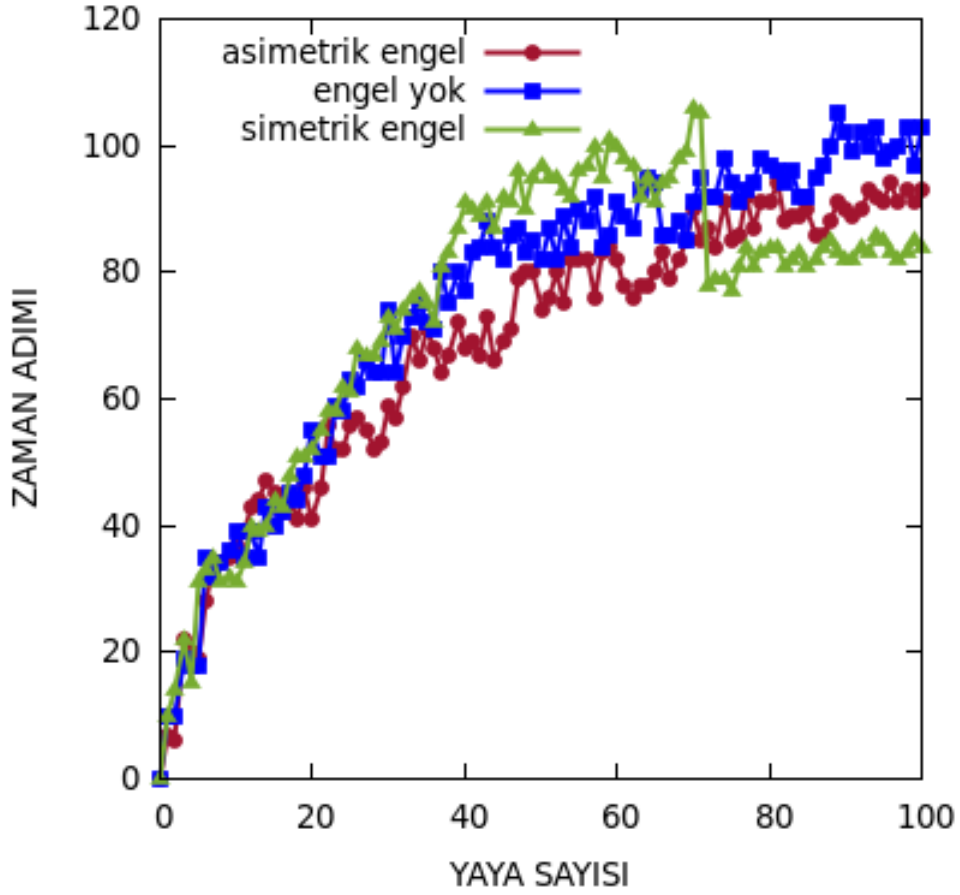


Şekil 4.37. (20x20) birim hücre büyüklüğünde iki birim hücrelik tek çıkışlı odanın şematik gösterimi.



Şekil 4.38. Feromon buharlaşma oranındaki değişimin herhangi bir engelin mevcut olmadığı durumda tahliye süresi üzerindeki etkisi.

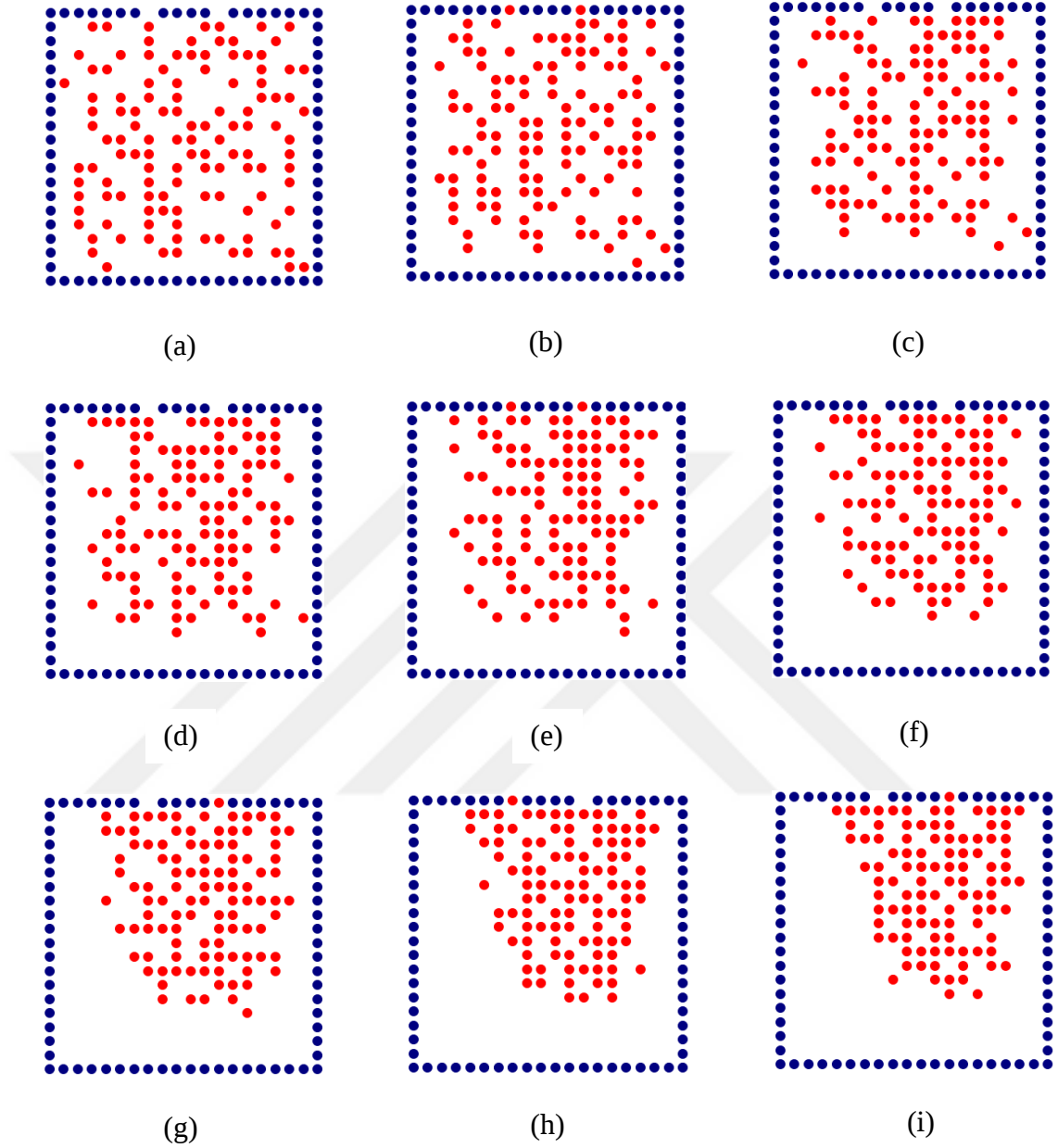
Şekil 4.38'deki grafiğe bakıldığında feromon buharlaşma oranı $f=0.9$ olması durumunda, tahliye eğrisinde beklenenden farklı bir durumla karşılaşılmış, buharlaşma oranındaki artış tahliyeyi hızlandırmıştır. Bunun sebebinin, yayaların birbirini takip etmek yerine tahliye kulvarını kullanmaları olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.39. Odada var olan engelin şeklinin tahliye süresi üzerindeki etkisi.

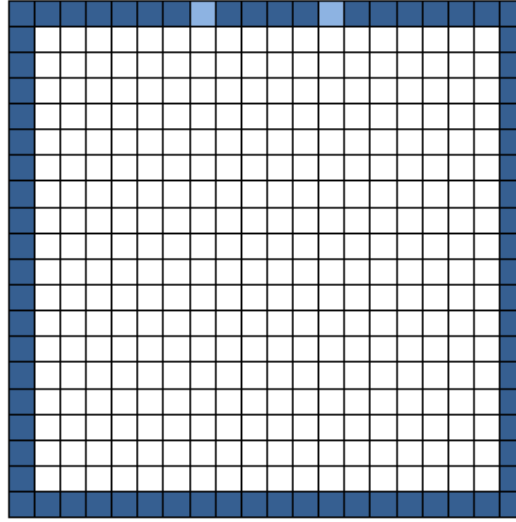
Feromon buharlaşma oranının $f=0.1$ olduğu durumda engel şeklinin tahliye üzerindeki etkisi Şekil 4.39'daki gibidir. Grafikten de anlaşılacağı üzere, asimetrik şekilde konumlandırılmış engelin, çıkış kapısı güzergahını üçe bölüp yayaların o bölgede yoğunlaşmasını engelleyerek tahliye düzen getirmesi sebebiyle hiçbir engelin olmadığı duruma nispeten daha hızlı bir tahliye süreci gerçekleşmiştir. Simetrik engelde ise faz geçişi gözlenmektedir. Yaya trafiğinde üç ayrı faz mevcuttur: Serbest akış fazı, senkronize faz ve sıkışık faz [129,130]. Serbest akış fazında yayalar arasındaki etkileşim (birbirini yavaşlatma durumu) daha azdır ve hız yoğunlukla orantılı olarak lineer artar. Senkronize fazda ise ya akış uzun bir zaman sabit bir hızda devam eder, ya hareket hızı giderek yavaşlar yahut da düzensiz (hızlanma-yavaşlama arasında değişen) bir akış gözlenir. Sıkışık faz adından da anlaşılacağı üzere hareketin durakladığı durumdur. Bu bilgiler ışığında simetrik engel eğrisi incelendiğinde belli bir yaya sayısı değerinden itibaren feromonun da etkisiyle tahliyede hızlanma yönünde bir faz geçişi (senkronize fazdan serbest akış fazına geçiş) olabileceği düşünülmektedir.

4.1.3. Çıkış Kapısının Yerinin ve Büyüklüğünün Tahliye Üzerindeki Etkisi

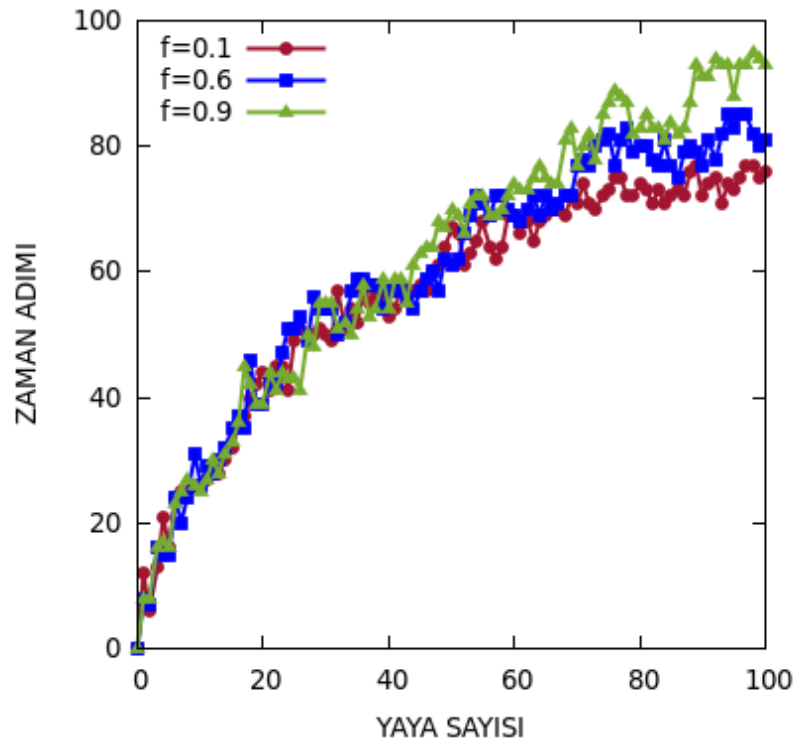


Şekil 4.40. $f=0.1$ için yaya sayısının 120 olduğu, birbirinden dört birim hücre uzaklığında birer birim hücrelik iki çıkışlı odadan tahliyenin anlık durum görüntüsü (a) $t=0$, (b) $t=4$, (c) $t=8$, (d) $t=12$, (e) $t=16$, (f) $t=20$, (g) $t=24$, (h) $t=28$, (i) $t=32$.

Hücrelerin statik zemin alanı değerleri öklidyen metoduyla hesaplanmıştır. Şekil 4.40'ta görülen, birbirinden dört birim hücre uzaklığında birer birim hücrelik iki kapının bulunduğu bir odada gerçekleşen tahliye esnasında, kapıların birbirine olan yakınlıkları sebebiyle yayaların çıkış tercihinde kararsız kalabilecekleri ve bu kararsızlığın yaratacağı karmaşanın tahliyeyi geciktirebileceği düşünülmektedir.

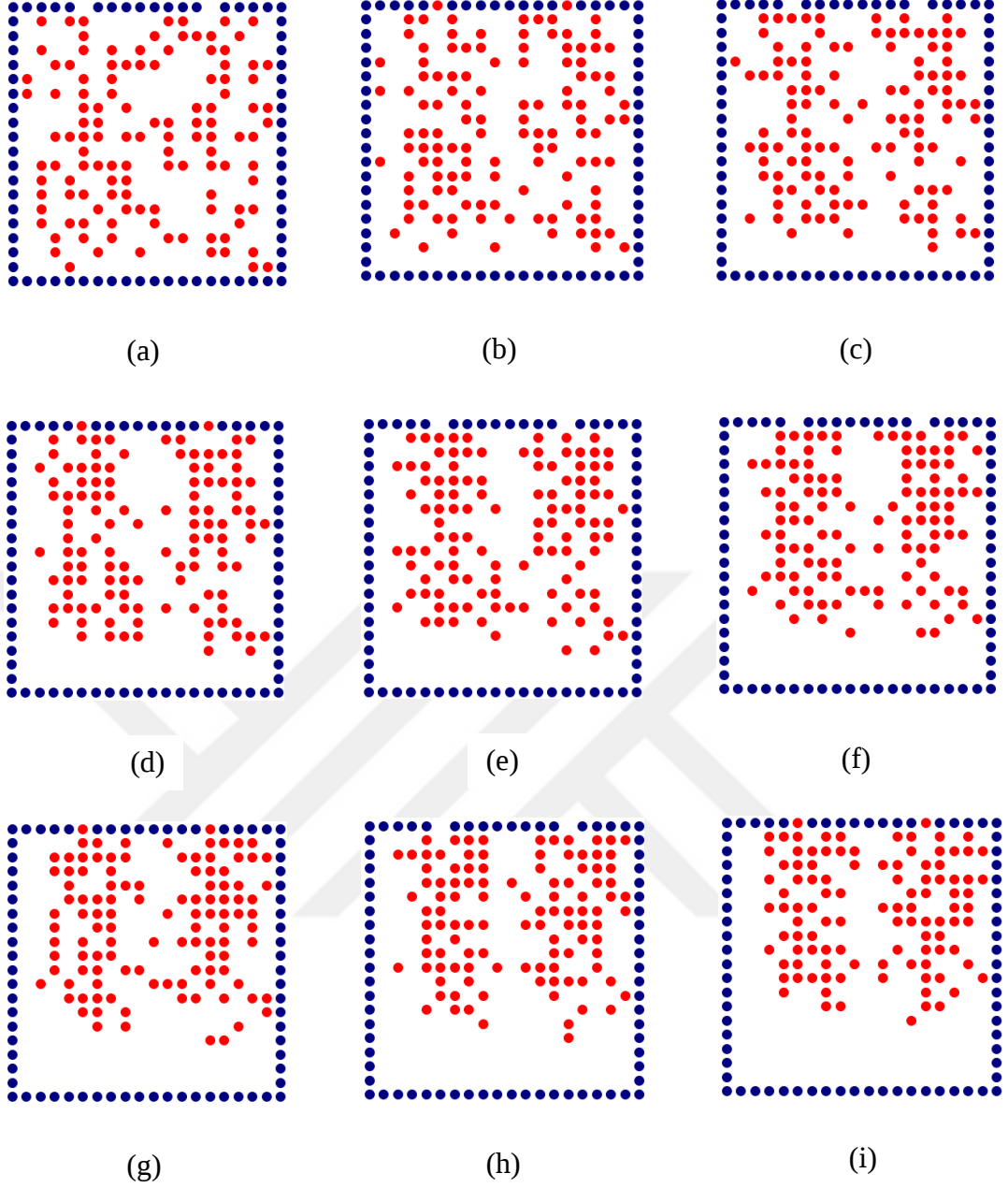


Şekil 4.41. (20x20) birim hücre büyüklüğünde birbirinden dört birim hücre uzaklığında birer birim hücrelik iki çıkışlı odanın şematik gösterimi.



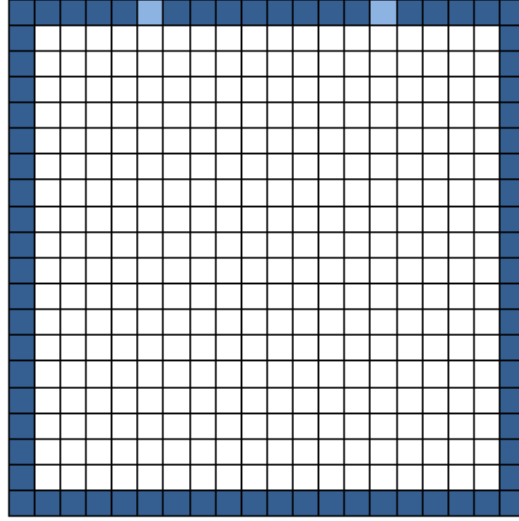
Şekil 4.42. Feromon buharlaşma oranındaki değişimin birbirinden dört birim hücre uzaklığında birer birim hücrelik iki çıkışın var olduğu bir durumda tahliye süresi üzerindeki etkisi.

Şekil 4.42'ye bakıldığında genel manada iki çıkışın tahliyeyi hızlandırdığı, ayrıca feromon buharlaşma oranının etkisinin de (buharlaşma oranı arttıkça tahliye yavaşlar) yaya sayısının yoğun olduğu tahliyelerde daha fazla olduğu görülmektedir.

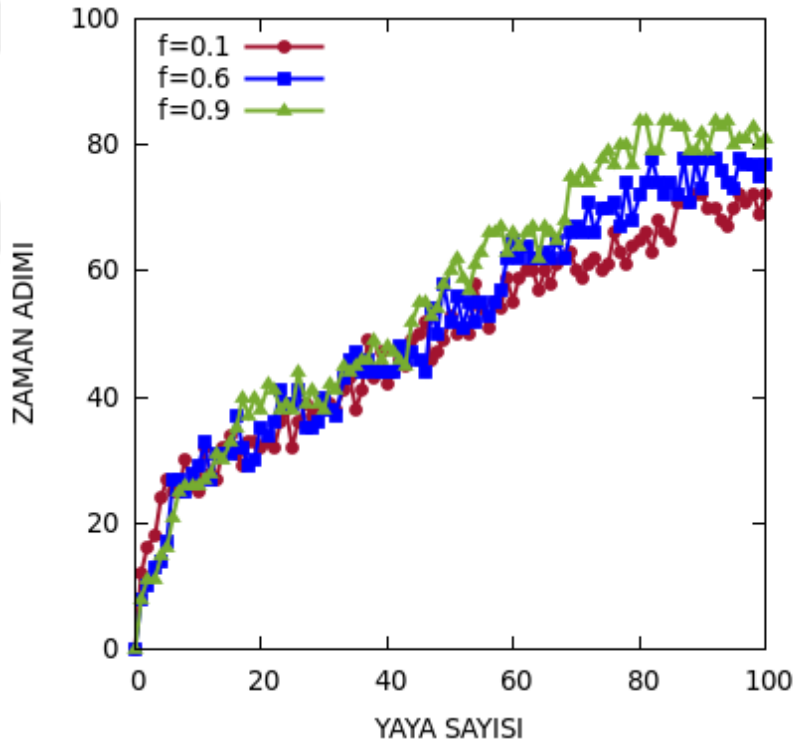


Şekil 4.43. $f=0.1$ için yaya sayısının 120 olduğu, birbirinden sekiz birim hücre uzaklığında birer birim hücrelik iki çıkışlı odadan tahliyenin anlık durum görüntüsü (a) $t=0$, (b) $t=4$, (c) $t=8$, (d) $t=12$, (e) $t=16$, (f) $t=20$, (g) $t=24$, (h) $t=28$, (i) $t=32$.

Hücrelerin statik zemin alanı değerleri öklidyen metoduyla hesaplanmış olup simülasyon sonuçlarıyla çizdirilen Şekil 4.43'teki anlık durum görüntülerine bakıldığında, odanın kuzey duvarına konumlandırılan kapılar arası mesafenin sekiz birim hücre olmasıyla birlikte, çıkış hücrelerinin statik zemin alanından kaynaklanan iki çekici kuvvet haline geldiği, odanın adeta dikey bir şekilde bölünmüş iki ayrı kısma ayrıldığı ve bu sayede yaya sayısındaki yoğunluğun sebep olabileceği kargaşanın da azalacağı tahmin edilmektedir.

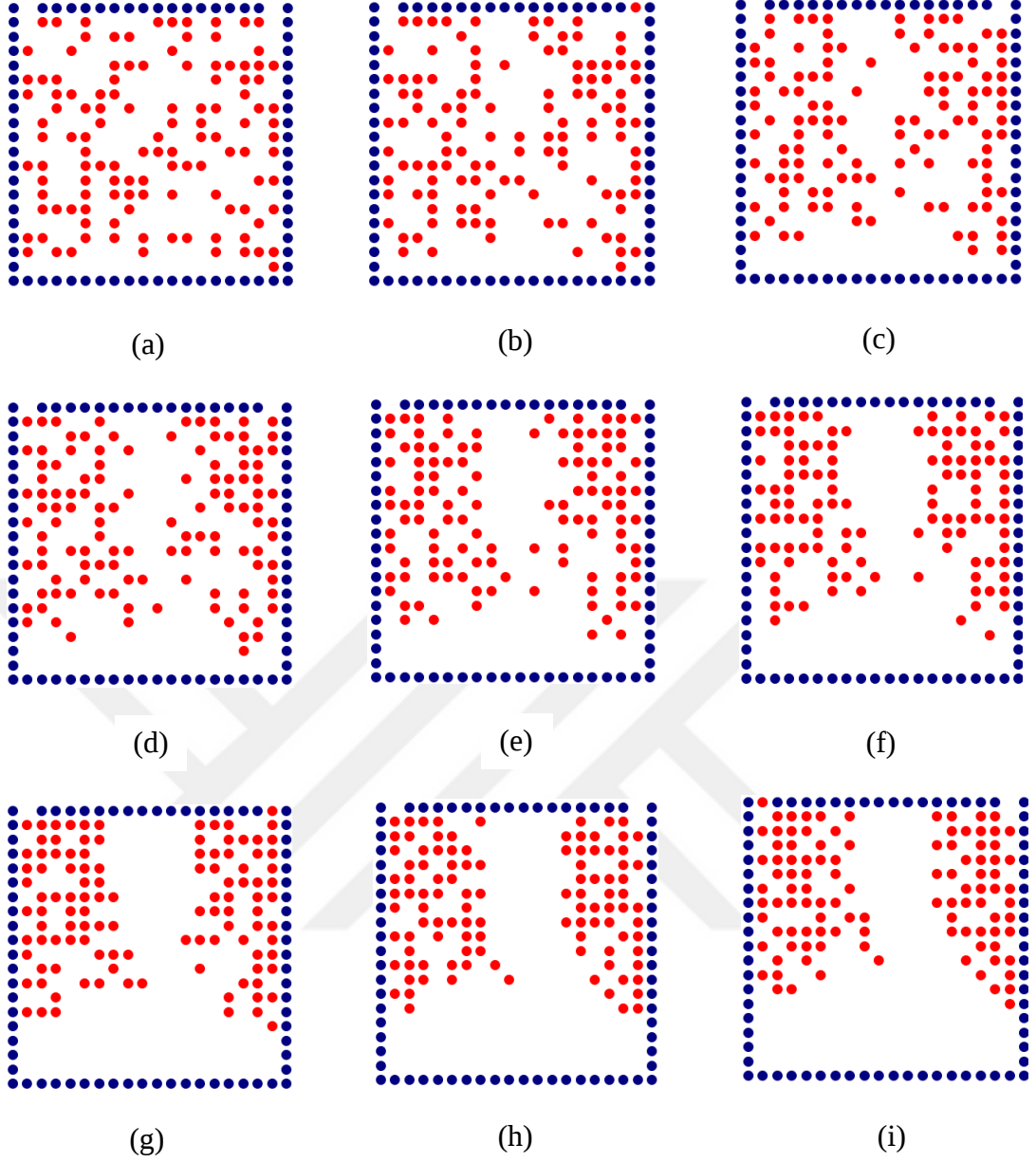


Şekil 4.44. (20x20) birim hücre büyüklüğünde birbirinden sekiz birim hücre uzaklığında birer birim hücrelik iki çıkışlı odanın şematik gösterimi.



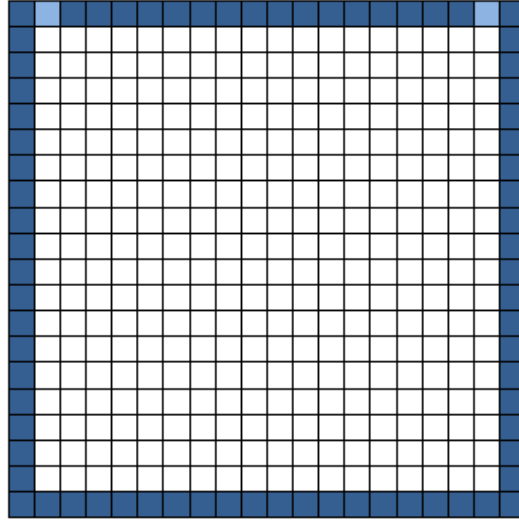
Şekil 4.45. Feromon buharlaşma oranındaki değişimin birbirinden sekiz birim hücre uzaklığında birer birim hücrelik iki çıkışın var olduğu bir durumda tahliye süresi üzerindeki etkisi.

Şekil 4.45'te görüldüğü üzere birbirinden sekiz birim hücre uzaklığa konumlandırılan kapılar tahliyeyi oldukça hızlandırmıştır. Bunun yanında feromon buharlaşma oranı değişiminden kaynaklanan etkinin de kapının diğer konumlarına göre daha düşük yaya yoğunluğundan itibaren gözlenebildiği görülmektedir.

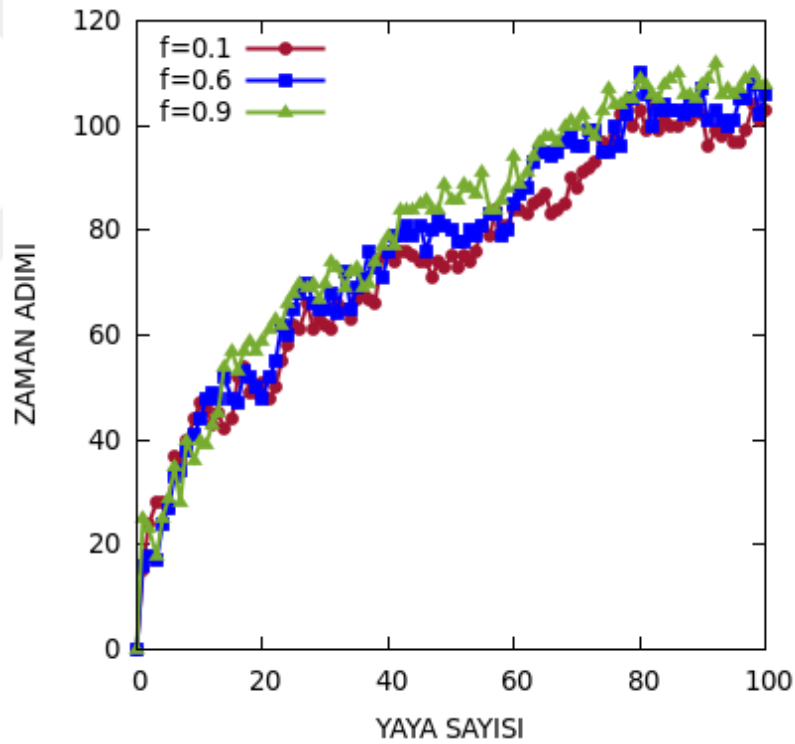


Şekil 4.46. $f=0.1$ için yaya sayısının 120 olduğu, birbirinden on altı birim hücre uzaklığında birer birim hücrelik iki çıkışlı odadan tahliyenin anlık durum görüntüsü (a) $t=0$, (b) $t=4$, (c) $t=8$, (d) $t=12$, (e) $t=16$, (f) $t=20$, (g) $t=24$, (h) $t=28$, (i) $t=32$.

Hücrelerin statik zemin alanı öklidyen metoduyla hesaplanmıştır ve elde edilen simülasyon sonuçlarıyla çizdirilen anlık durum görüntüleri Şekil 4.46'daki gibidir. Kapılar arasında on altı birim hücre olduğunda, diğer bir deyişle kapılar odanın duvarlarına bitişik konumdayken görüntülerden de görülebileceği gibi tahliyenin yavaşlaması beklenmektedir. Çünkü bu koşullarda, yayaların hareket etme olasılığı formülünden de (Denklem 3.4) açıkça anlaşılacağı üzere, hareket duvarın varlığıyla sınırlanmıştır. Bu durum, görüntülerde yayaların oluşturduğu kulvarların duvar kenarında yoğunlaşmasından da anlaşılmaktadır.

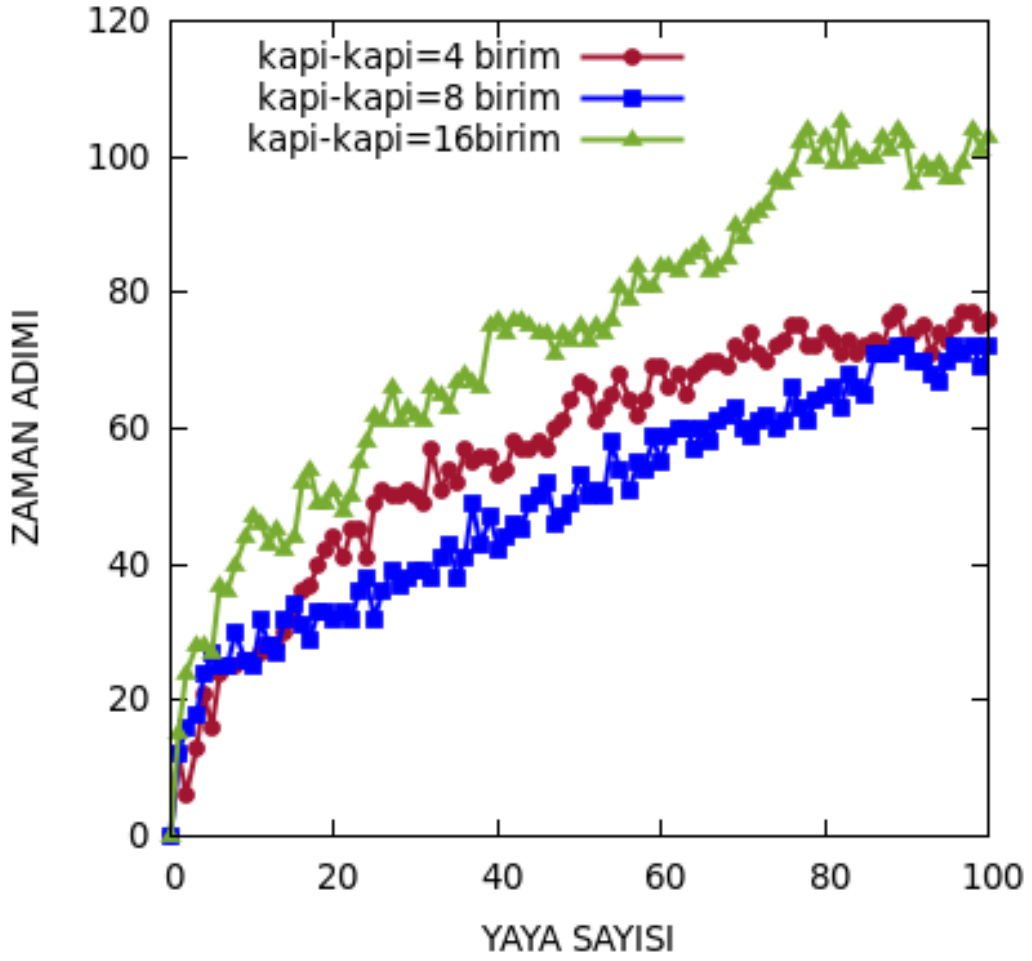


Şekil 4.47. (20x20) birim hücre büyüklüğünde birbirinden on altı birim hücre uzaklığında birer birim hücrelik iki çıkışlı odanın şematik gösterimi.



Şekil 4.48. Feromon buharlaşma oranındaki değişimin birbirinden on altı birim hücre uzaklığında birer birim hücrelik iki çıkışın var olduğu bir durumda tahliye süresi üzerindeki etkisi.

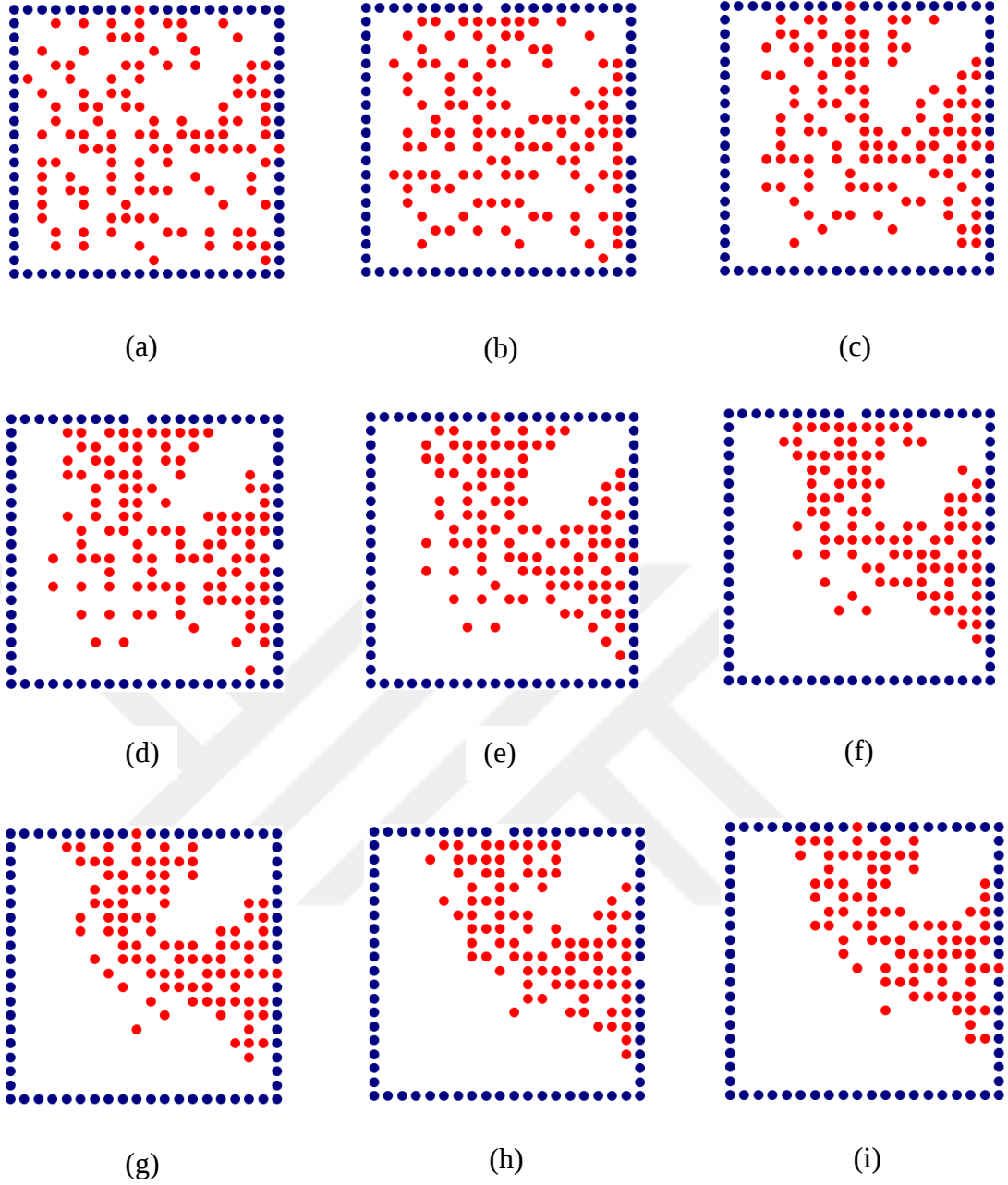
Birbirinden on altı birim hücre uzaklıkta konumlandırılmış kapıların tahliye üzerinde beklendiği gibi yavaşlatıcı bir etki gösterdiği Şekil 4.48'den de anlaşılmaktadır. Aynı zamanda çıkış kapılarının bu konumu, grafikte de açıkça görüldüğü gibi tahliyedeki feromon buharlaşma oranı etkisini azaltmıştır.



Şekil 4.49. Çıkış kapıları arasındaki mesafenin tahliye süresi üzerindeki etkisi.

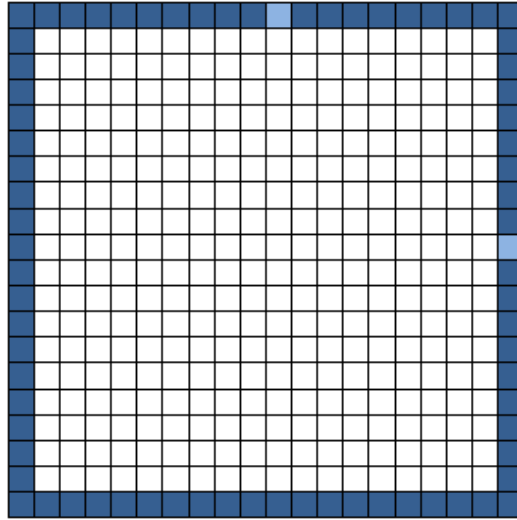
Feromon buharlaşma oranının $f=0.1$ olduğu durumda çıkış kapıları arasındaki mesafenin tahliye üzerindeki etkisi Şekil 4.49'daki grafikte görüldüğü gibidir.

Grafiğe bakıldığında en hızlı tahliyenin kapılar arası mesafenin sekiz birim hücre olduğu durumda gerçekleştiği görülmektedir. Bu mesafenin optimum değer olmasının sebebi, tahliye sırasında yayaların, kapılar arası mesafenin dört birim hücre olduğu durumdaki gibi, diğer yayalar veya on altı birim hücre olduğu durumdaki gibi duvar tarafından hareket alanlarının kısıtlanmayışı olduğu düşünülmektedir. Mesafenin dört birim hücre ve on altı birim hücre olduğu durumlardaki tahliye süresi değişiminin sebebi ise kapılar arası mesafenin az olduğu durumda hareketi kısıtlayan yayaların, kapıların köşelerde olduğu durumda tahliyeyi yavaşlatan duvar gibi sabit bir konuma sahip olmayıp, her bir zaman adımında hareket etmeleriyle birlikte tahliyeyi yavaşlatıcı etkilerinin de azalmasıdır.

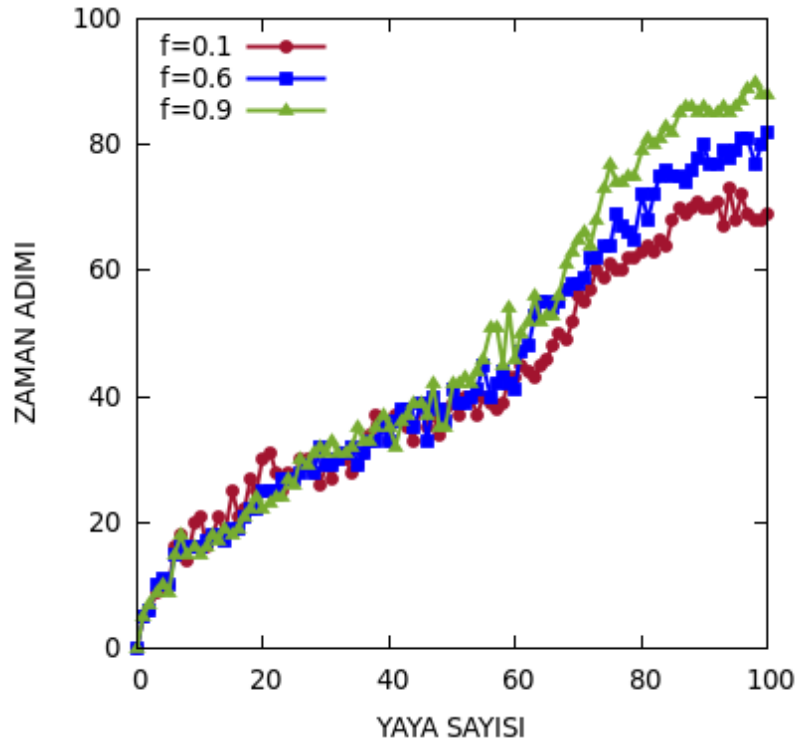


Şekil 4.50. $f=0.1$ için yaya sayısının 120 olduğu, iki ayrı duvarda konumlandırılmış birer birim hücrelik iki çıkışlı odadan tahliyenin anlık durum görüntüsü (a) $t=0$, (b) $t=4$, (c) $t=8$, (d) $t=12$, (e) $t=16$, (f) $t=20$, (g) $t=24$, (h) $t=28$, (i) $t=32$.

Hücrelerin statik zemin alanı değerleri öklidyen metoduyla hesaplanmış olup simülasyonlar neticesinde çizdirilmiş olan anlık durum görüntüleri Şekil 4.50'deki gibidir. Birer birim hücrelik iki kapının ayrı duvarlarda konumlandırılmasının, odaya rastgele dağılan yayaların çıkış kapısı için tercihini kolaylaştırmış ve 'takip etme içgüdüsü'nü modellemekte kullanılan hayali feromon hormonunu da daha etkin hale getirmiş olduğu düşünülmektedir.

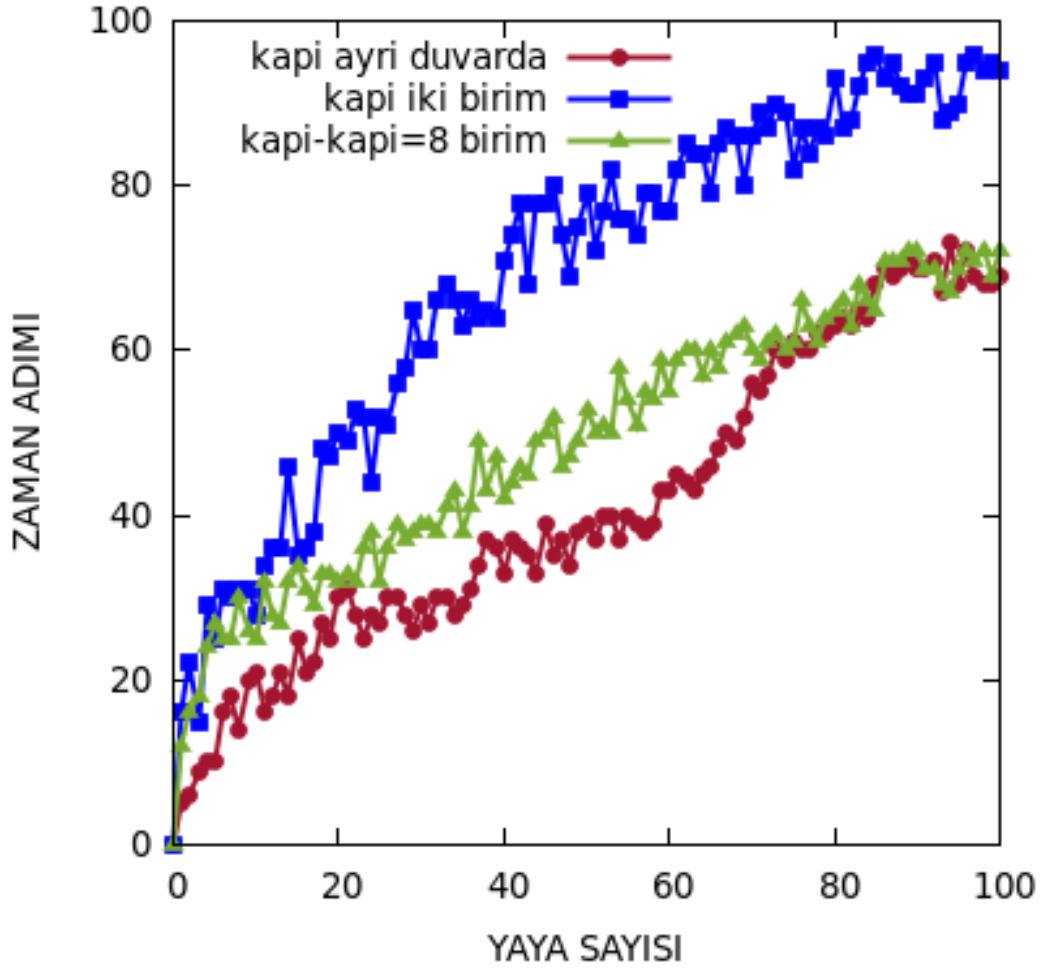


Şekil 4.51. (20x20) birim hücre büyüklüğünde iki ayrı duvarda konumlandırılmış birer birim hücrelik iki çıkışlı odanın şematik gösterimi.



Şekil 4.52. Feromon buharlaşma oranındaki değişimin iki ayrı duvarda konumlandırılmış birer birim hücrelik iki çıkışın var olduğu bir durumda tahliye süresi üzerindeki etkisi.

İki ayrı duvarda konumlandırılan birer birim hücrelik iki çıkışın var olduğu bir odadan tahliyeyi gösteren Şekil 4.52'deki grafiğe bakıldığında, kapıların bu konumunun tahliyeyi hızlandırdığı ve ayrıca yaya yoğunluğunun yüksek olduğu durumlarda feromon etkisinin de daha net görülmesini sağladığı gözlenmektedir.

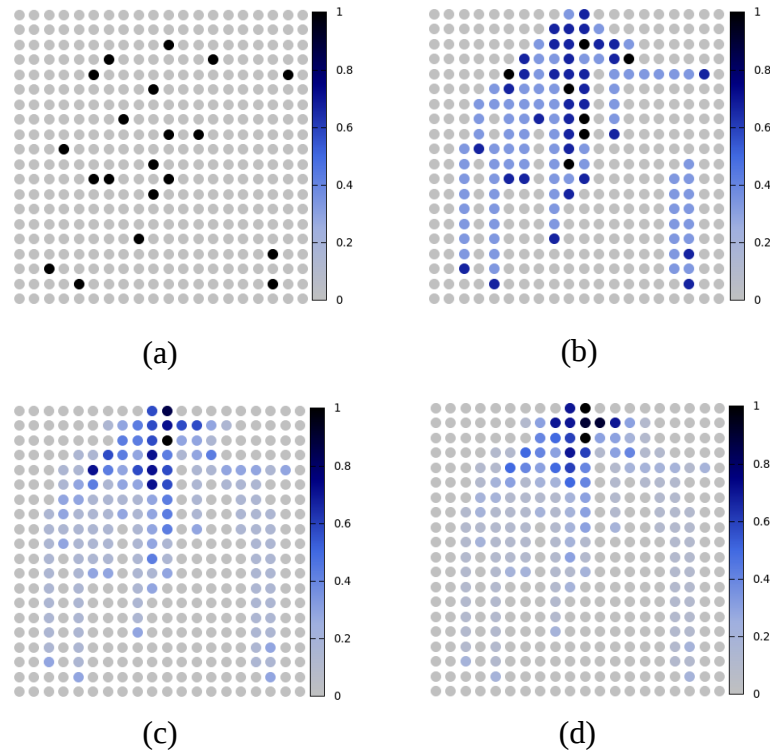


Şekil 4.53. Farklı çıkış kapılarının tahliye süresi üzerindeki etkisi.

Feromon buharlaşma oranının $f=0.1$ olduğu durumda farklı çıkış kapılarının tahliye üzerindeki etkisi Şekil 4.53'te görüldüğü gibidir. Grafikten de anlaşılaacağı üzere, birer birim hücrelik iki kapı tahliye üzerinde iki birim hücrelik tek kapıya nispeten daha fazla hızlandırıcı bir etkiye sahiptir. Bunun sebebinin iki ayrı çekici kuvvet vazifesi gören iki ayrı kapının, yaya yoğunluğundan kaynaklanan sıkışıklık durumunu azaltması olduğu düşünülmektedir. Odanın aynı duvarında birbirinden sekiz birim hücre uzakta konumlandırılan birer birim hücrelik iki kapının tahliye üzerindeki etkisi, odanın farklı duvarlarındaki birer birim hücrelik kapıdan yüksek yoğunluklarda benzer davranış gösteren, fakat düşük yoğunluklarda daha uzun tahliye süresini belirten bir eğriyle gösterilmiştir. İki ayrı duvarda konumlandırılan kapıların, yayaları odanın farklı bölgelerinde ayrı gruplara ayırması sebebiyle daha küçük yaya yoğunluklarında dahi tahliyeyi hızlandırdığı düşünülmektedir.

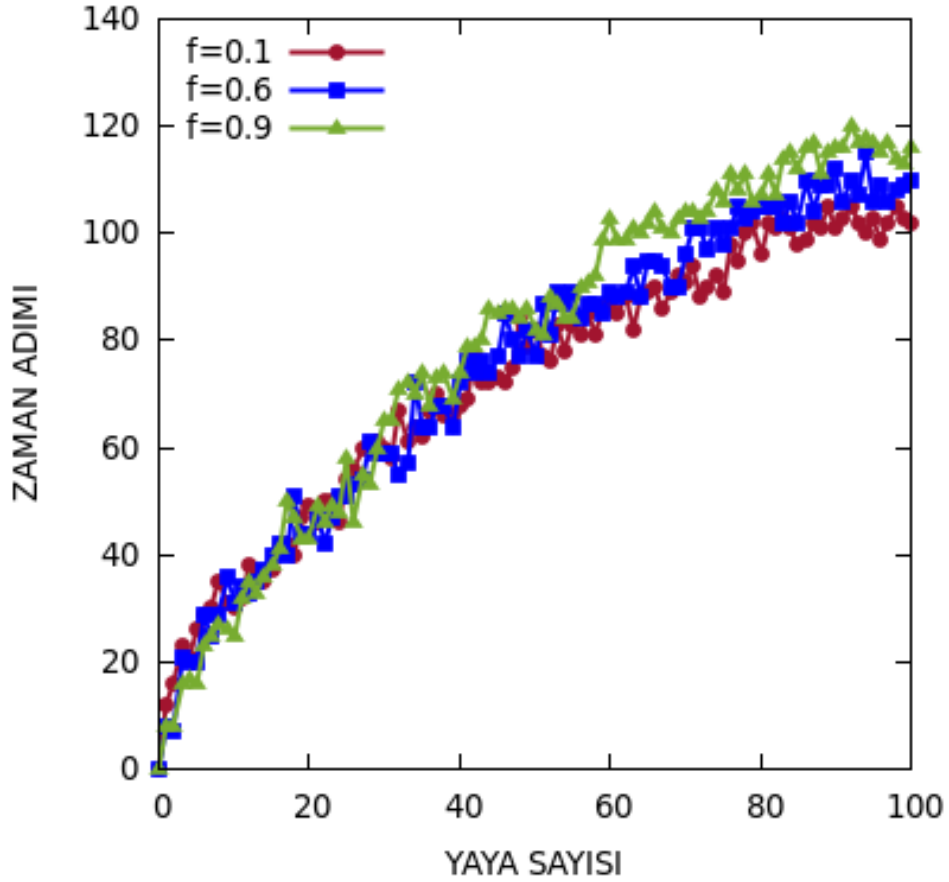
4.2. Herhangi Bir Sebepile Çıkmış Olan Bir Yangın Durumunda, Ortamda Sadece Dumanın Bulunduğu ve Duman Sebebiyle Görüşün Sınırlı Olduğu Acil Durum

Herhangi bir sebeple çıkmış olan bir yangın durumunda, ortamda sadece dumanın bulunduğu ve duman sebebiyle görüşün sınırlı olduğu acil durum modellenirken, başlangıç konfigürasyonunda odaya yoğunluğa bağlı olarak belirli bir miktar duman rastgele olarak yerleştirilmiştir. Dumanın kapıya doğru olan hareketi modellenirken von Neumann komşuluğu dikkate alınmıştır. Bu komşuluğa göre dört yönde hareket edebilen duman, başlangıçta 1.0 birimle harekete başlamış ve hareketi sırasında geçtiği her hücreye 0.2 birim duman bırakmıştır. Aynı zamanda bırakılan duman miktarınca o hücredeki toplam duman miktarı da azalmıştır. Bu modellemenin duman yoğunluğunun az olduğu duruma karşılık gelen anlık durum görüntüleri Şekil 4.54'te verilmiştir. Dumanın ortam içinde yayılması ise kum yığını modeliyle simüle edilmiştir. Bu modele göre, hücrelerde biriken duman miktarı, $t=1$ zaman adımından itibaren 1.2 birim miktarında olursa, duman kuzey-güney-doğu ve batı komşu hücrelere 0.3 birim olarak paylaşılır.



Şekil 4.54. Duman yoğunluğu az olduğunda odadaki dumanın kapıya doğru olan hareketinin anlık durum görüntüsü (a) $t=0$, (b) $t=20$, (c) $t=40$, (d) $t=60$.

4.2.1. Duman Yoğunluğunun Az Olduğu Durum

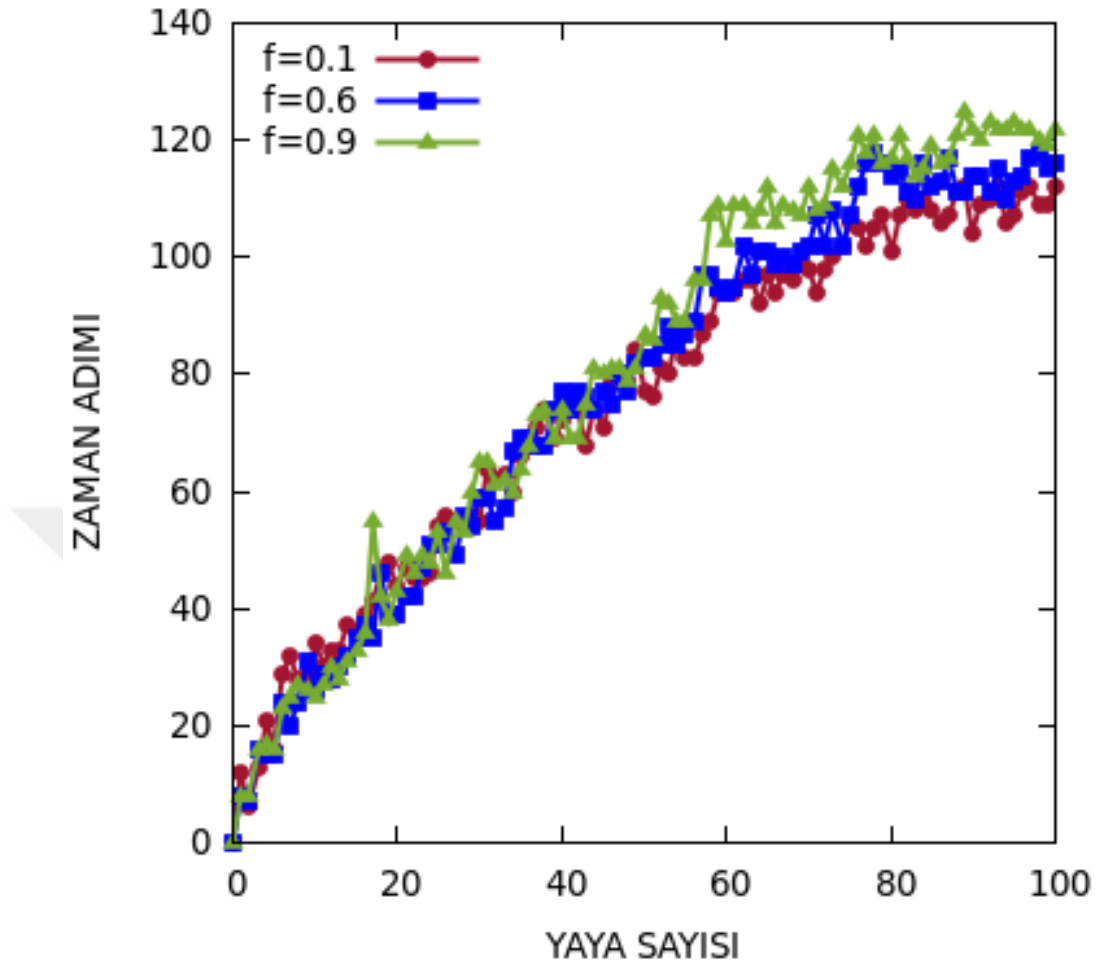


Şekil 4.55. Duman yoğunluğunun az olduğu durumda feromon buharlaşma oranındaki değişimin tahliye süresi üzerindeki etkisi.

Duman yoğunluğunun az olduğu durum modellenirken başlangıç konfigürasyonunda odaya yirmi birim miktarda duman rastgele olarak yerleştirilmiştir.

Elde edilen simülasyon sonuçlarıyla çizdirilen başlangıçtaki yaya sayısına bağlı olarak değişen tahliye süresini gösteren Şekil 4.55'teki grafiğe bakıldığında, tahliye sürecinin duman olmayan bir durumuna nispeten dumanın görünürlüğe olan etkisi sebebiyle yavaşladığı gözlenmektedir. Bunun yanında değişen feromon buharlaşma oranlarının etkisi de beklendiği üzere artan buharlaşma oranıyla tahliye süresindeki artışa karşılık gelmektedir.

4.2.2. Orta Yoğunlukta Dumanın Var Olduğu Durum

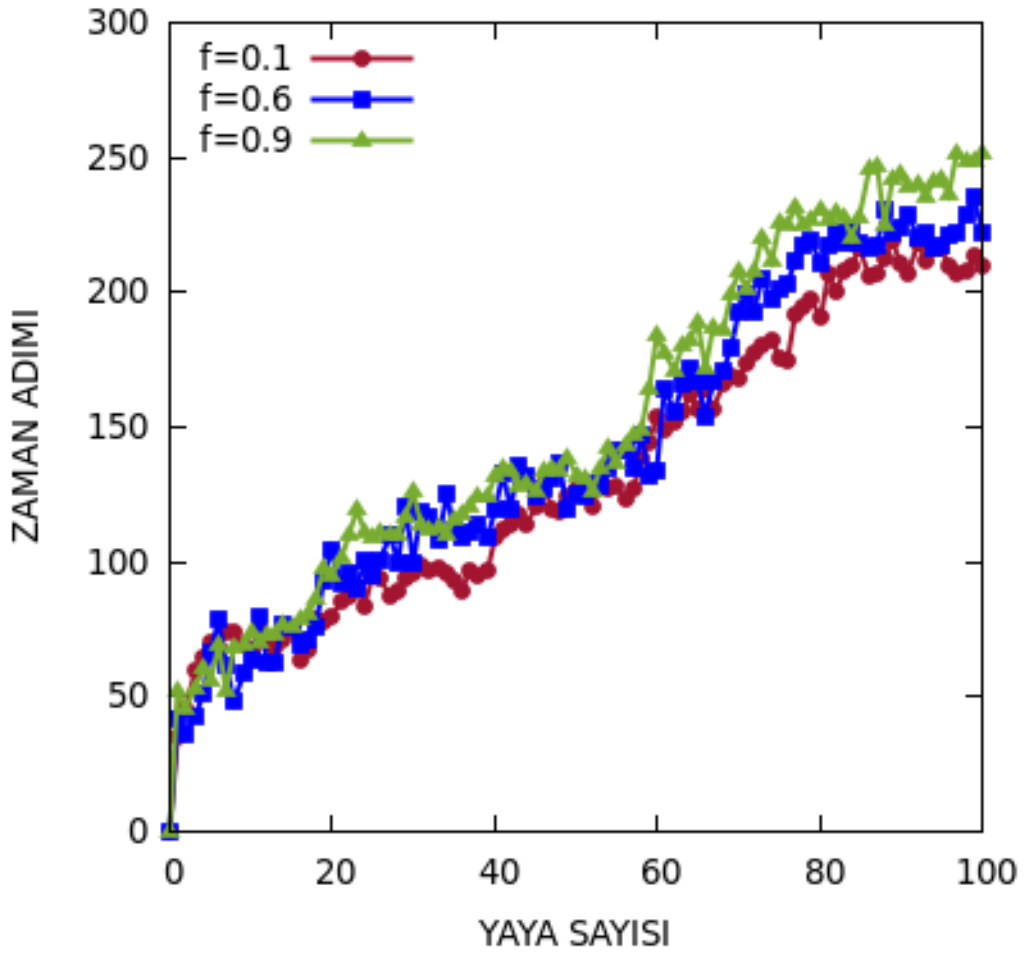


Şekil 4.56. Orta yoğunlukta dumanın var olduğu durumda feromon buharlaşma oranındaki değişimin tahliye süresi üzerindeki etkisi.

Orta yoğunlukta dumanın var olduğu durum modellenirken başlangıç konfigürasyonunda odaya kırk birim miktarda duman rastgele olarak yerleştirilmiştir.

Feromon buharlaşma oranındaki değişimin tahliye üzerindeki etkisini gösteren Şekil 4.56'daki grafiğe bakıldığında, tahliye sürecinin ortamdaki duman miktarına bağlı olarak azalan görünürlükle birlikte uzadığı ve feromon buharlaşma oranlarının etkisinin de dumanın az yoğun bulunma durumuna göre daha belirgin olduğu gözlenmektedir. Bunun sebebinin odadaki görünürlük azalırken yayaaların daha çok 'takip etme içgüdü' ile hareket etmeleri olduğu düşünülmektedir.

4.2.3. Duman Yoğunluğunun Çok Olduğu Durum



Şekil 4.57. Duman yoğunluğunun çok olduğu durumda feromon buharlaşma oranındaki değişimin tahliye süresi üzerindeki etkisi.

Duman yoğunluğunun çok olduğu durum modellenirken başlangıç konfigürasyonunda odaya altmış birim miktarında duman rastgele olarak yerleştirilmiştir.

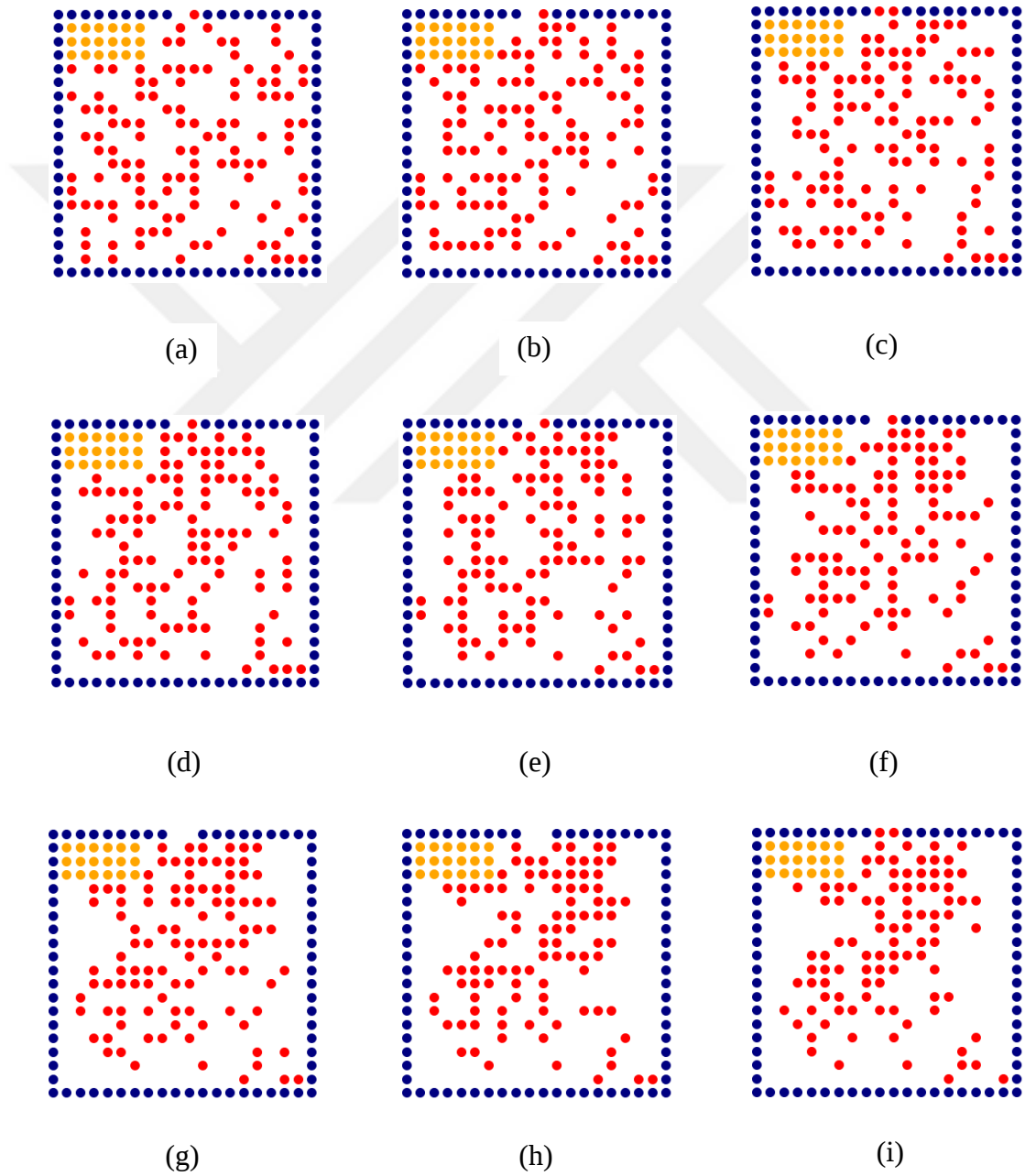
Şekil 4.57'deki grafiğe bakıldığında, tahliye sürecinin ortamdaki duman miktarına bağlı olarak oldukça azalan görünürlük sebebiyle belirgin bir şekilde uzadığı ve feromon buharlaşma oranlarının yaya sayısının daha az olduğu durumlarda dahi etkili olduğu görülmektedir.

4.3. Ateşin ve Dumanın Aynı Anda Ortamda Bulunduğu Acil Durum

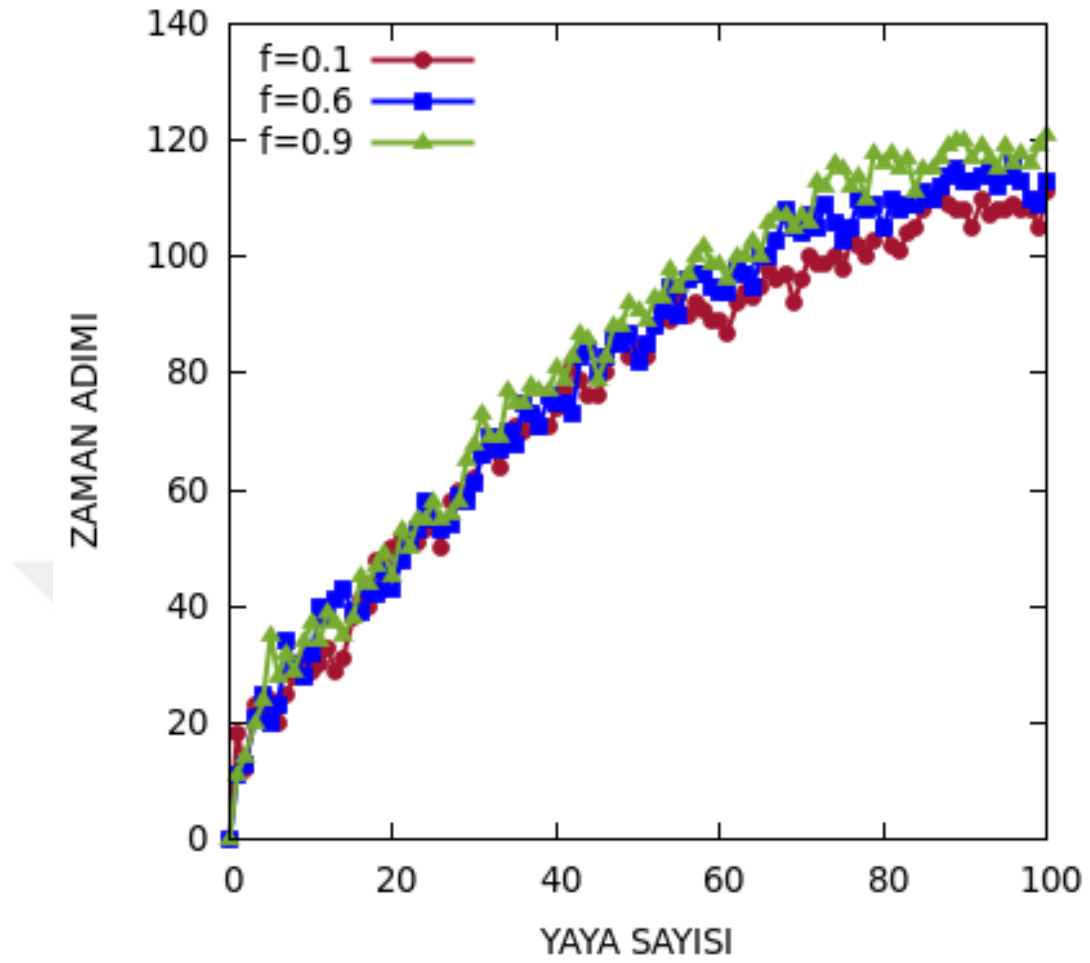
Ateşin varlığı simüle edilirken, ateş olan hücrede aynı zamanda dumanın da var olması, dumanın hareketinin kapıya doğru azalarak gerçekleşmesi ve dumanın ortam içinde kum yığını modeliyle yayılması şeklinde bir modelleme kullanılmıştır.

4.3.1. Ateşin Lokal Olarak Kaldığı (Yayılmadığı) Durum

a) Ateşin Kuzey Tarafındaki Duvarı Kapının Sol Kısımında Olması Durumu



Şekil 4.58. $f=0.1$ için yaya sayısının 120 olduğu, ateşin kuzey tarafındaki duvarda kapının sol kısmında bulunduğu tahliye sürecinin anlık durum görüntüsü (a) $t=0$, (b) $t=4$, (c) $t=8$, (d) $t=12$, (e) $t=16$, (f) $t=20$, (g) $t=24$, (h) $t=28$, (i) $t=32$.

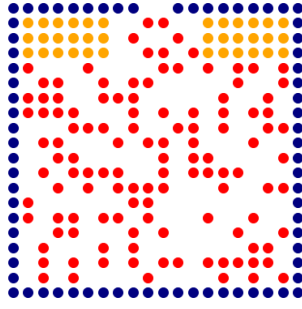


Şekil 4.59. Feromon buharlaşma oranındaki değişimin ateşin kuzey tarafındaki duvarda kapının sol kısmında bulunduğu durumda tahliye süresi üzerindeki etkisi.

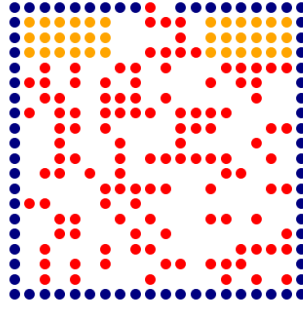
Şekil 4.58'deki anlık durum görüntülerine bakıldığında ateşin çıkış kapısının soluna konumlandırılması sebebiyle başlangıçta rastgele olarak yerleştirilen yayaların odanın sağ kısmına doğru hareket ederek tahliyeyi gerçekleştirdikleri görülmektedir.

Feromon buharlaşma oranındaki değişimin tahliye üzerindeki etkisi Şekil 4.59'da görülmekte olup tahliye süresinin, ateşin mevcudiyetiyle o bölgedeki hücrelere hareketin mümkün olmaması ve ateş olan hücrelerden yayılan ortamdaki dumanın görüşü az da olsa azaltması nedenleriyle uzadığı düşünülmektedir. Tahliye eğrilerinin de artan feromon buharlaşma oranıyla birlikte değişerek beklenen şekilde olduğu gözlenmektedir.

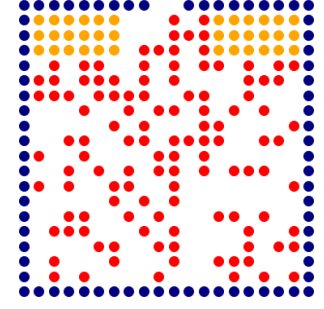
b) Ateşin Kuzey Tarafındaki Duvarda Kapının Sol ve Sağ Kısımlarında Olması Durumu



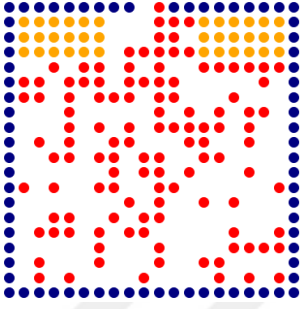
(a)



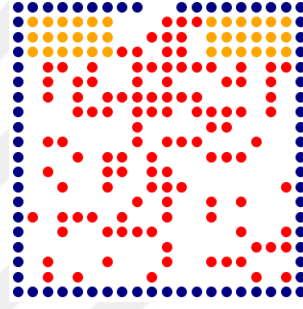
(b)



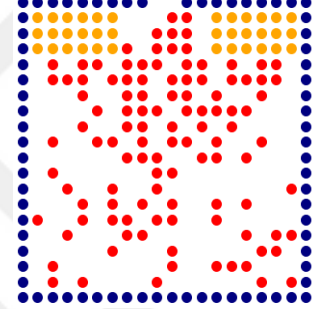
(c)



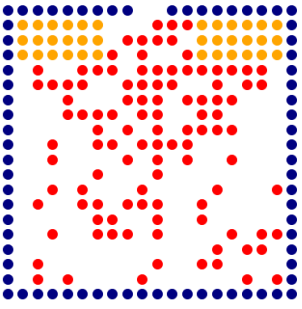
(d)



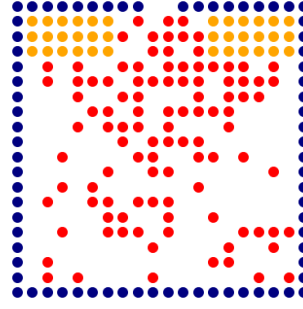
(e)



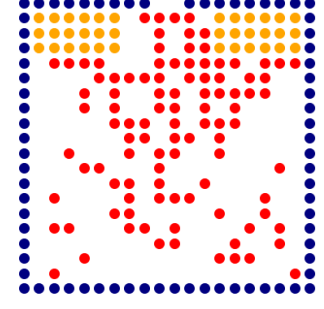
(f)



(g)

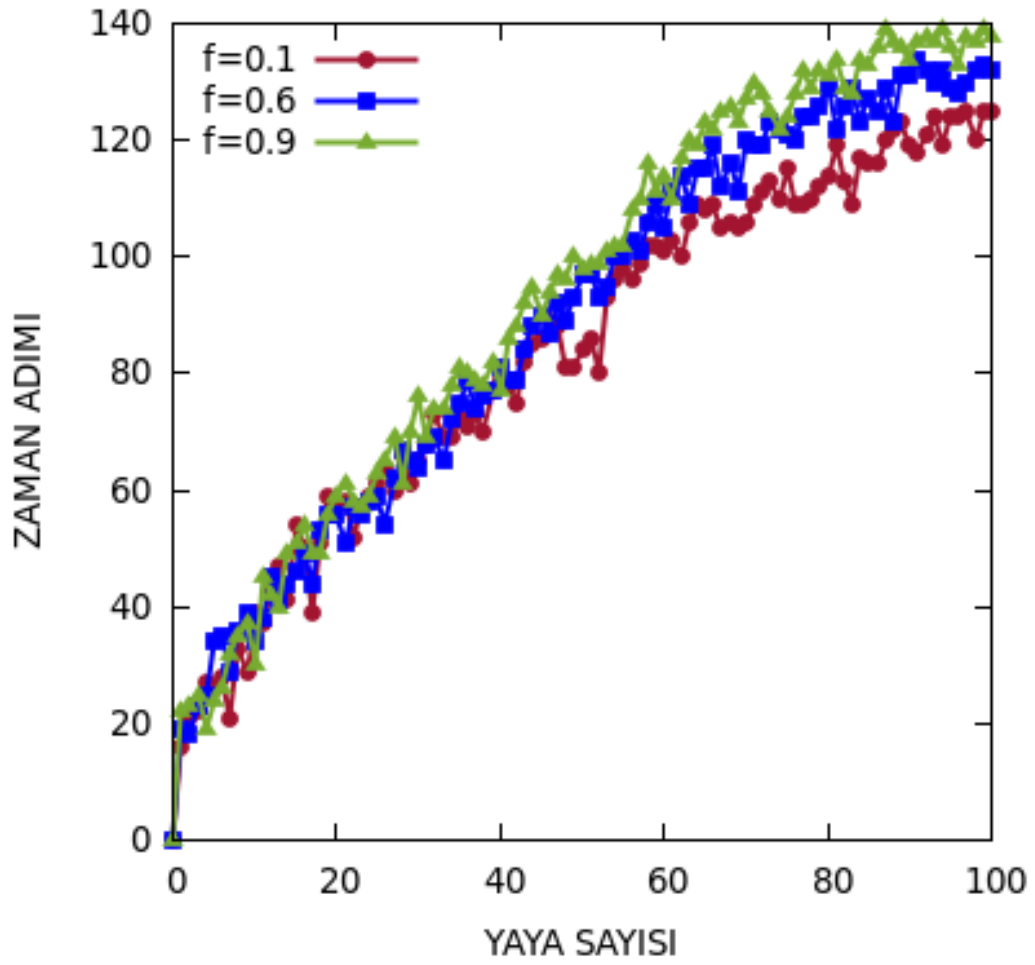


(h)



(i)

Şekil 4.60. $f=0.1$ için yaya sayısının 120 olduğu, ateşin kuzey tarafındaki duvarda kapının sol ve sağ kısımlarında bulunduğu tahliye sürecinin anlık durum görüntüsü (a) $t=0$, (b) $t=4$, (c) $t=8$, (d) $t=12$, (e) $t=16$, (f) $t=20$, (g) $t=24$, (h) $t=28$, (i) $t=32$.

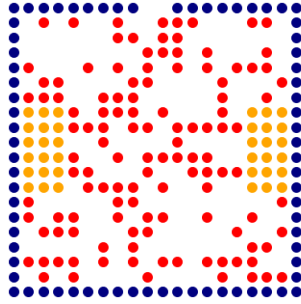


Şekil 4.61. Feromon buharlaşma oranındaki değişimin ateşin kuzey tarafındaki duvarda kapının sol ve sağ kısımlarında bulunduğu durumda tahliye süresi üzerindeki etkisi.

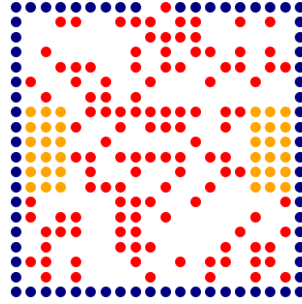
Anlık durum görüntülerinin verildiği Şekil 4.60'a bakıldığında ateşin çıkış kapısının sağ ve solundaki hücrelerde olması sebebiyle başlangıçta rastgele olarak yerleştirilen yayaların çıkış kapısı güzergahında odanın orta kısmında toplandıkları görülmektedir.

Şekil 4.61'de ateşin mevcut olduğu hücrelerin sayısının artışıyla birlikte artan duman miktarının görüşü daha fazla sınırlandırması sebebiyle, ateşin kapının yalnızca sol kısmında olması durumuna nispeten daha geç gerçekleşen bir tahliye eğrisi görülmekte ve feromonun düşük yoğunluklarda dahi etkili olduğu gözlenmektedir.

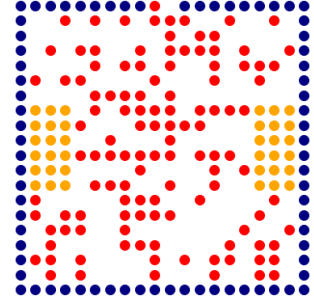
c) Ateşin Doğu ve Batı Tarafındaki Duvarlarda Olması Durumu



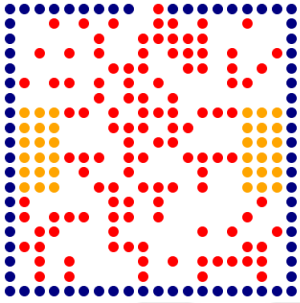
(a)



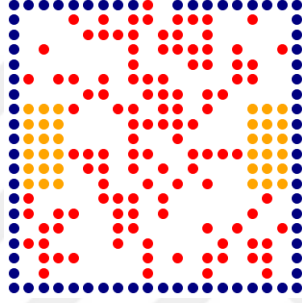
(b)



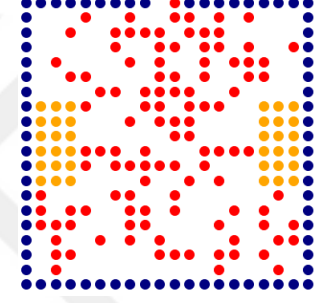
(c)



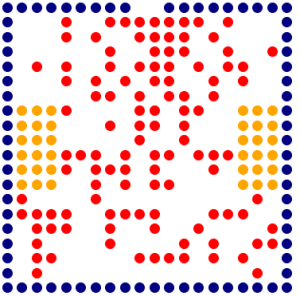
(d)



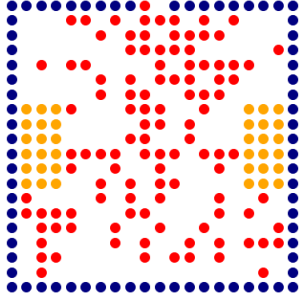
(e)



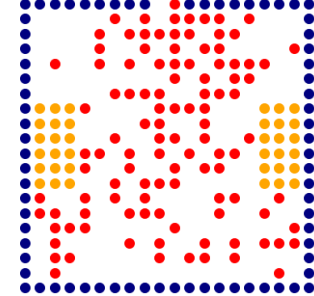
(f)



(g)

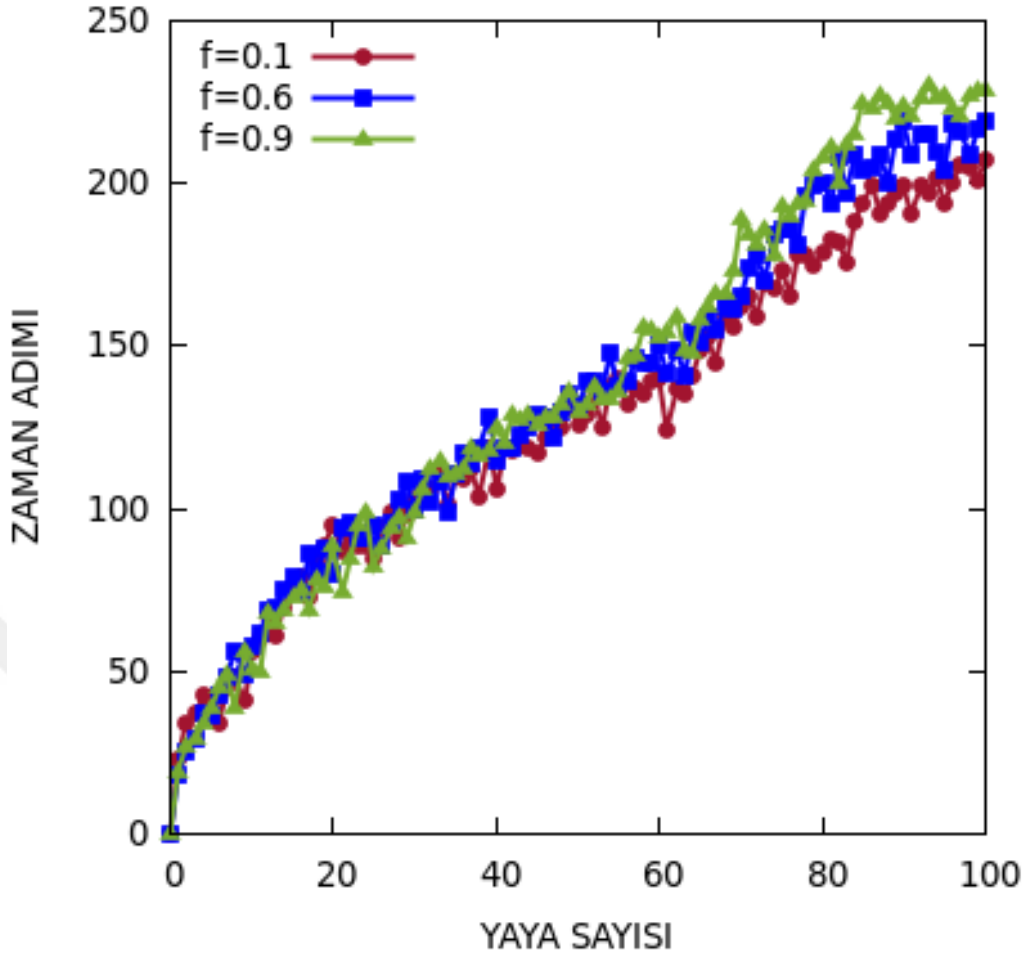


(h)



(i)

Şekil 4.62. $f=0.1$ için yaya sayısının 120 olduğu, ateşin doğu ve batı tarafındaki duvarlarda bulunduğu tahliye sürecinin anlık durum görüntüsü (a) $t=0$, (b) $t=4$, (c) $t=8$, (d) $t=12$, (e) $t=16$, (f) $t=20$, (g) $t=24$, (h) $t=28$, (i) $t=32$.

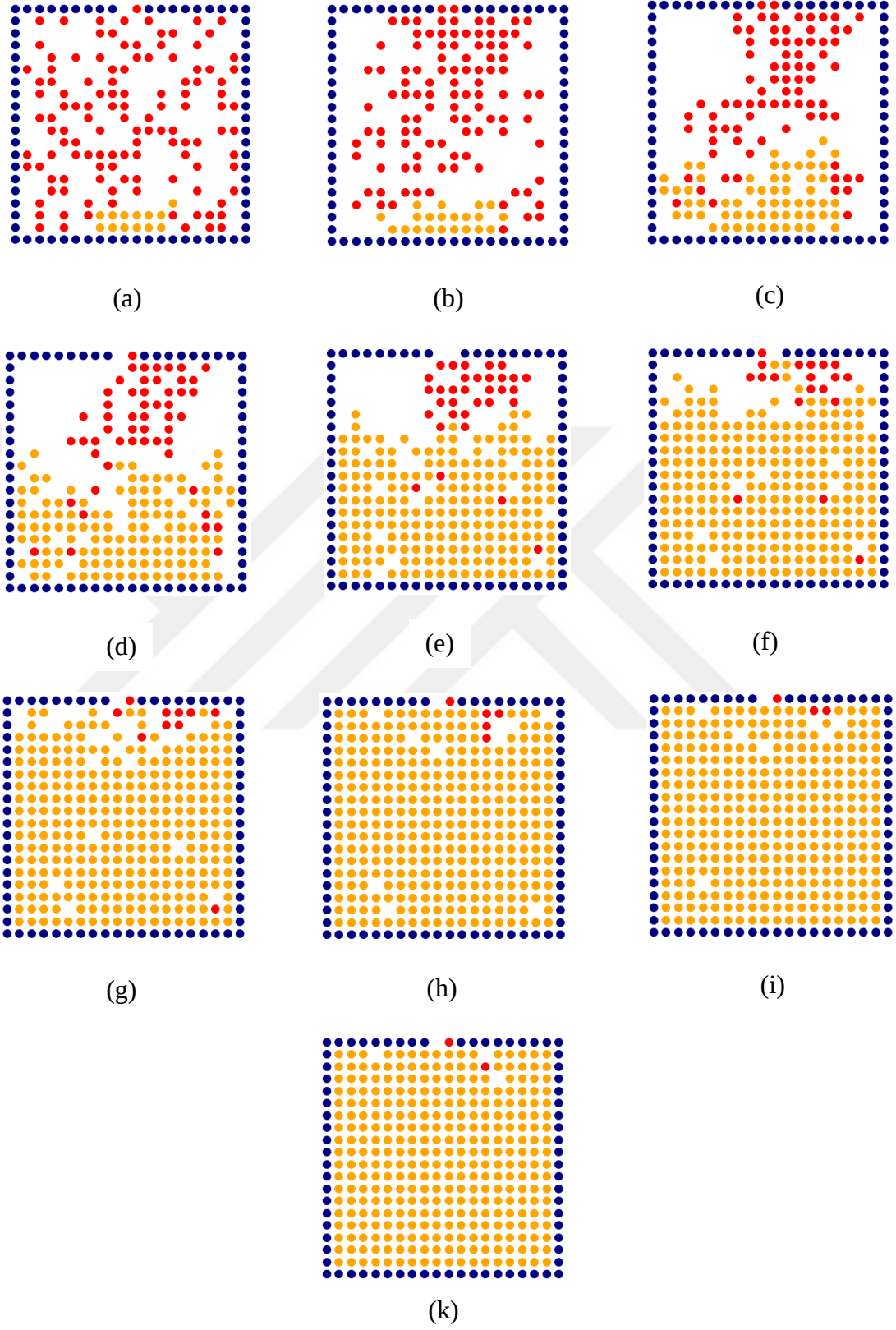


Şekil 4.63. Feromon buharlaşma oranındaki değişimin ateşin doğu ve batı tarafındaki duvarlarda bulunduğu durumda tahliye süresi üzerindeki etkisi.

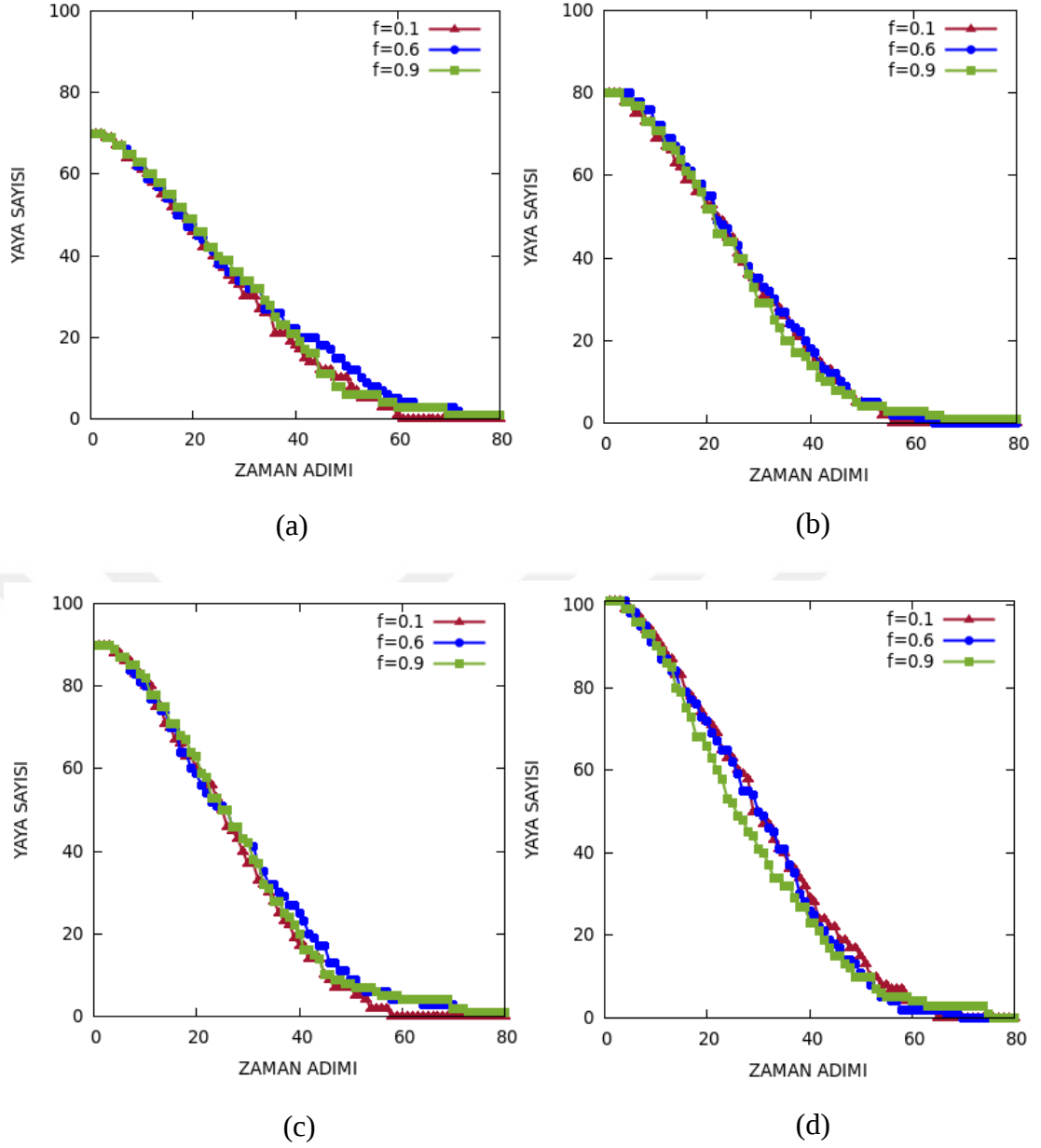
Anlık durum görüntüleri Şekil 4.62’de verilen ateşin doğu ve batı duvarlarında olması durumunda, yayaların ateşin konumundan ötürü odanın ortasında daralan çıkış kapısına doğru da genişleyen bir kulvarda hareket ettikleri görülmektedir.

Ateşin mevcudiyeti sebebiyle hareket edilemeyen hücrelerin var olmasının yanı sıra ateş olan hücrelerin odanın ortasında olmasıyla birlikte dumanın kapıya olan hareketi esnasında ortama yayılma oranının da artacağı, bu sebeple görüşün sınırlanacağı duruma ait tahliye grafiği Şekil 4.63’te verilmiştir.

4.3.2. Ateşin Ortama Yayıldığı Durum



Şekil 4.64. $f=0.1$ için yaya sayısının 120 olduğu, ateşin ortama yayıldığı tahliye sürecinin anlık durum görüntüsü (a) $t=1$, (b) $t=10$, (c) $t=20$, (d) $t=30$, (e) $t=40$, (f) $t=50$, (g) $t=60$, (h) $t=70$, (i) $t=80$, (k) $t=90$.



Şekil 4.65. Değişen yaya sayısına göre feromon buharlaşma oranındaki değişimin ateşin ortama yayıldığı durumda tahliye süresi üzerindeki etkisi: (a)70, (b)80, (c)90, (d)100.

Ateşin ortama yayıldığı duruma ait Şekil 4.64'teki anlık durum görüntülerine bakıldığında, geçen her bir zaman adımıyla birlikte odanın güney duvarında sarı renkli noktalarla gösterilen ateşin işgal ettiği oda hücrelerinin sayısının arttığı, aynı zamanda komşuluğundaki tüm hücrelerde ateşin mevcut olduğu merkez hücrede konumlanmış yayaların bir sonraki zaman adımında öldüğü varsayılan modellemenin kullanılmasıyla hücrelerde oluşan boşluklar görülmektedir.

Şekil 4.65'teki grafiklere bakıldığında farklı başlangıç yaya sayılarında ateşin yayıldığı bir ortamdan tahliye süreci görülmektedir. Grafikte görülen yaya sayısı için yalnızca yangından sağ kurtulan yayalar hesaba katılmıştır ve tez çalışması boyunca elde edilen sonuçlarla benzer olarak tahliye süresinin artan feromon buharlaşma oranıyla birlikte arttığı görülmektedir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında yapılan çalışmalarda; acil durum olayının meydana geldiği ortamdan, insanların tahliyesi sürecinde süreyi etkileyecek faktörlerin (feromon buharlaşma hızı, çıkış kapısının konumu, farklı uzunluk ve yapıya sahip engellerin konumları, olası bir yangın durumunda ortamdaki dumanın hareketi ve görünürlüğe olan etkisi ile ateşin konumu v.b.) karıncaların davranışlarından esinlenerek araştırılmıştır. Bu araştırmalar neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Karıncaların kullandıkları feromon hormonundan esinlenerek, insanların ‘birbirini takip etme içgüdü’sü’nün modellendiği ‘hayali feromon’un çeşitli değerleri için ($f=0.1, 0.6$ ve 0.9) tahliye süreci araştırılmış ve buharlaşma oranındaki artışın tahliyeyi yavaşlattığı görülmüştür.
2. Tahliyenin gerçekleştiği odada bir engelin varlığı simüle edilmiş, engel boyunun 6, 8, 10 ve 12 birim hücre olduğu durumlar için süreç incelenmiş ve optimum değer altı birim hücre, odanın boyutu ($L \times L$) olarak düşünüldüğünde $3L/10$ birim hücre, olduğu sonucuna varılmıştır.
3. Sekiz birim hücre uzunluktaki bir engelin var olduğu durumda engel-kapı mesafesi arttıkça tahliyenin yavaşladığı, ancak iki birim hücre uzaklığın bu durumdan farklı olarak süreci hızlandırdığı ve engel olmadığı duruma nispeten daha hızlı bir tahliyenin gerçekleştiği bulunmuştur.
4. Farklı şekillerde engeller modellenerek gerçekleştirilen simülasyonlarda, engelin tahliye süresini kısalttığı ve tahliye esnasında faz geçişlerinin meydana geldiği gözlenmiştir. Elde edilen grafik eğrileri incelendiğinde, yaya sayısının artmasıyla birlikte artan tahliye süresi, süreç esnasında hareket hızının giderek yavaşladığını; faz geçişinden hemen önce bazı eğrilerde gözlenen artan yaya sayısı ile birlikte sürenin neredeyse değişmeme durumu ise o bölgelerde düzensiz bir hızlanmanın var olduğunu; özetle eğrinin faz geçişinden önce senkronize faz özelliklerini taşıdığını göstermiştir. Faz

geçişinden sonra ise hareket hızının artması neticesinde tahliye süresindeki ani azalışla birlikte serbest faza geçişin meydana geldiği gözlenmiştir.

5. Farklı büyüklükteki kapıların oda duvarlarında farklı hücrelere konumlandırılmasıyla elde edilen simülasyon sonuçları incelendiğinde, yaya hareketlerinin diğer yayalar veya duvarlar tarafından engellenmemesini sağlayacak şekilde konumlandırılmış kapıların tahliyeyi hızlandığı, en hızlı tahliyenin ise kapıların iki ayrı duvarda olması durumunda gerçekleştiği görülmüştür.
6. Dumanın var olduğu bir acil durum modellenmiş, dumanın çıkış kapısına doğru hareket etmesi ve ortam içinde kum yığını modeliyle yayılması sağlanarak literatürdeki hareket etmeyen sabit yoğunluklu duman modeline daha gerçekçi bir katkı sağlanmış, bu konudaki boşluk doldurulmuştur.
7. Yangının olduğu bir acil durum simüle edilmiş, ateş olan hücrelerde dumanı da konumlandırarak gerçeğe yakın bir model geliştirilmiştir.

Elde edilen tüm bu sonuçlarla günümüzde doğal, teknolojik ya da insan kaynaklı afetler neticesinde ortaya çıkabilecek durumlarda, insan hayatı için oluşabilecek tehlikeleri azaltma yönünde geliştirilebilecek modellere esin kaynağı olabilmek amaçlanmıştır.

KAYNAKLAR

1. Norman, D. A. *Living with Complexity*. The MIT Press. Cambridge, Massachusetts, London, England, 2011, 297s.
2. Vicsek, T. A question of scale. *Nature*. 2001, 411, 421-421.
3. Faria, J. J., Dyer, J. R. G., Toshi C.R., Krause, J. Leadership and social information use in human crowds. *Animal Behaviour*. 2010, 79 (4), 895–901.
4. Helbing, D., Schweitzer, F., Keltsch, J., Molnár, P. Active walker model for the formation of human and animal trail systems. *Physical Review E*. 1997, 56 (3), 2527-2539.
5. Helbing, D., Farkas, I., Vicsek, T., Simulating dynamical features of escape panic. *Nature*. 2000, 407, 487-490.
6. Moussaid, M., Helbing, D., Theraulaz, G. How simple rules determine pedestrian behavior and crowd disasters. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2011, 108, 6884–6888.
7. Shiwakoti, N., Sarvi, M., Rose, G., Burd, M. Enhancing the safety of pedestrians during emergency egress: Can we learn from biological entities? *Transportation Research Record*. 2009, 2137, 31–37.
8. Shiwakoti, N., Sarvi, M., Rose, G., Burd, M. Biologically inspired modeling approach for collective pedestrian dynamics under emergency conditions. *Transportation Research Record* 2010, 2196, 176–184.
9. Shiwakoti, N., Sarvi, M., Rose, G., Burd, M. Animal dynamics based approach for modeling pedestrian crowd egress under panic conditions. *Transportation Research Part B*. 2011, 45, 1433–1449.
10. Schaller, V., Weber, C., Semmrich, C., Frey, E., Bausch, A.R. Polar patterns of driven filaments. *Nature*. 2010, 467, 73–77.
11. Butt, T., Mufti, T., Humayun, A., Rosenthal, P.B., Khan, S., Molloy, J.E. Myosin motors drive long range alignment of actin filaments. *Journal of Biological Chemistry*. 2010, 285, 4964–4974.
12. Czirok, A., Ben, J. E., Cohen, I., Vicsek, T. Formation of complex bacterial colonies via self-generated vortices. *Physical Review E*. 1996, 54 (2), 1791–1801.
13. Czirok, A., Matsushita, M., Vicsek, T. Theory of periodic swarming of bacteria: Application to *Proteus mirabilis*. *Physical Review E*. 2001, 63 (3), 031915-1-11.
14. Sokolov, A., Aranson, I.S., Kessler, J.O., Goldstein, R.E. Concentration dependence of the collective dynamics of swimming bacteria. *Physical Review Letters*. 2007, 98 (15), 158102-4.
15. Cisneros, L.H., Cortez, R., Dombrowski, C., Goldstein, R.E., Kessler, J.O. Fluid dynamics of self-propelled microorganisms, from individuals to concentrated populations. *Experiments in Fluids*. 2007, 43, 737–753.
16. Kessler, D.A., Levine, H. Pattern formation in dictyostelium via the dynamics of cooperative biological entities. *Physical Review E*. 1993, 48, 4801–4804.
17. Nagano, S. Diffusion-assisted aggregation and synchronization in dictyostelium discoideum. *Physical Review Letters*. 1998, 80 (21), 4826–4829.
18. Rappel, W. J., Nicol, A., Sarkissian, A., Levine, H. Self-organized vortex state in two-dimensional dictyostelium Dynamics. *Physical Review Letters*. 1999, 83, 1247–1250.
19. Szabo, B., Szölösi, G.J., Gönci, B., Juranyi, Zs., Selmeczi, D., Vicsek, T. Phase transition in the collective migration of tissue cells: Experiment and models. *Physical Review E*. 2006, 74, 061908-1-5.

20. Friedl, P., Gilmour, D. Collective cell migration in morphogenesis, regeneration and cancer. *Nature Reviews, Molecular Cell Biology*. 2009, 10, 445–457.
21. Arboleda - Estudillo Y., Krieg, M., Stuhmer J., Licata, N.A., Muller, D.J., Heisenberg, C. Movement directionality in collective migration of germ layer progenitors. *Current Biology*. 2010, 20, 161–169.
22. Belmonte, J. M., Thomas, G. L., Brunnet, K. G., de Almeida, R. M. C., Chate, H. Self-propelled particle model for cell-sorting phenomena. *Physical Review Letters*. 2008, 100, 248702-1-4.
23. Buhl, J., Sumpter, D. J. T., Couzin, I. D., Hale, J. J., Despland, E., Miller, E. R., Simpson, S. J. From disorder to order in marching locusts. *Science*. 2006, 312, 1402–1406.
24. Couzin, I. D., Franks, N. R. Self-organized lane formation and optimized traffic flow in army ants. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B*. 2003, 270, 139–146.
25. Hemelrijk C. K., Kunz, H. Density distribution and size sorting in fish schools: an individual-based model. *Behavioral Ecology*. 2005, 16 (1), 178–187.
26. Parrish, J. K., Viscido, S. V., Grunbaum, D. Self-organized fish schools: An examination of emergent properties. *The Biological Bulletin*. 2002, 202, 296–305.
27. Becco, C., Vandewalle, N., Delcourt, J., Poncin, P. Experimental evidences of a structural and dynamical transition in fish school. *Physica A*. 2006, 367, 487–493.
28. Ward, A. J. W., Sumpter, D. T. J., Couzin, I. D., Hart, P. J. B., Krause, J. Quorum decision-making facilitates information transfer in fish shoals. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2008, 105, 6948.
29. Heppner, F. *Animal Groups in Three Dimensions (Three-dimensional structure and dynamics of bird flocks)*. (Ed: Parrish, J. K., Hamner, W. M.). Cambridge University Press. 1997, (68–89) 377s.
30. Ballerini, M., Cabibbo, N., Candelier, R., Cavagna, A., Cisbani, E., Giardina, I., Lecomte, V., Orlandi, A., Parisi, G., Procaccini, A., Viale, M., Zdravkovic, V. Interaction ruling animal collective behavior depends on topological rather than metric distance: Evidence from a field study. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2008, 105, 1232.
31. Hayakawa, Y. Spatiotemporal dynamics of skeins of wild geese. *Europhysics Letters*. 2010, 89, 48004.
32. Bajec, I. L., Heppner, F.H. Organized flight in birds. *Animal Behaviour*. 2009, 78, 777–789.
33. Fischhoff, I. R., Sundaresan, S. R., Cordingley, J., Larkin, H.M., Sellier, M.-J., Rubenstein, D. I. Social relationships and reproductive state influence leadership roles in movements of plains zebra, *Equus burchellii*. *Animal Behaviour*. 2007, 73, 825–831.
34. Sueur, C., Petit, O. Organization of group members at departure is driven by social structure in macaca. *International Journal of Primatology*. 2008, 29, 1085–1098.
35. King, A. J., Douglas, C. M. S., Huchard, E., Isaac, N. J. B., Cowlshaw, G. Dominance and affiliation mediate despotism in a social primate. *Current Biology*. 2008, 18, 1833–1838.
36. Johna, A., Schadschneider, A., Chowdhury, D., Nishinari, K. Collective effects in traffic on bi-directional ant trails *Journal of Theoretical Biology*. 2004, 231, 279–285.

37. Franks, N. R., Richardson, T. O., Stroeymeyt, N., Kirby, R. W., Amos, W. M. D., Hogan, P. M., Marshall, J. A. R., Schlegel, T. Speed-cohesion trade-offs in collective decision making in ants and the concept of precision in animal behaviour. *Animal Behaviour*. 2013, 85, 1233-1244.
38. Reid, C. R., Latty, T., Beekman, M. Making a trail: informed Argentine ants lead colony to the best food by U-turning coupled with enhanced pheromone laying. *Animal Behaviour*. 2012, 84, 1579-1587.
39. Vittori, K., Talbot, G., Gautrais, J., Fourcassie, V., Araujo, A. F. R., Theraulaz, G. Path efficiency of ant foraging trails in an artificial network. *Journal of Theoretical Biology*. 2006, 239 (4), 507–515.
40. Helbing, D., Molnar, P. Social force model for pedestrian Dynamics. *Physical Review E*. 1995, 51, 4282-4286.
41. Hugghens, R. L., A continuum theory for the flow of pedestrians. *Transportation Research, Part B*. 2002, 36 (6), 507-535.
42. Huang, L., Wong, S.C., Zhang, M. P., Shu, C. W., William, H. K. L. Revisiting Hughes's dynamics continuum theory for pedestrian flow and the development of an efficient solution algorithm. *Transportation Research Part B*. 2009, 43 (1), 127-141.
43. Muramatsu, M., Irie, T., Nagatani, T. Jamming transition in pedestrian counter flow. *Physica A*. 1999, 267, 487-498.
44. Tajima, Y., Takimoto, K., Nagatani, T. Scaling of pedestrian channel flow with a bottleneck. *Physica A*. 2001, 294, 257–268.
45. Tajima, Y., Nagatani, T. Scaling behavior of crowd flow outside a hall. *Physica A*. 2001, 292, 545–554.
46. Helbing, D., Isobe, M., Nagatani, T., Takimoto K. Lattice gas simulation of experimentally studied evacuation Dynamics. *Physical Review E*. 2003, 67, 067101.
47. Nagatani, T., Takimoto K., Tajima Y. Effect of partition line on jamming transition in pedestrian counter flow. *Physica A*. 2002, 308, 460–470.
48. Muramatsu, M., Nagatani, T. Jamming transition in two-dimensional pedestrian traffic. *Physica A*. 2000, 275, 281–291.
49. Muramatsu, M., Nagatani, T. Jamming transition of pedestrian traffic at a crossing with open boundaries. *Physica A*. 2000, 286, 377–390.
50. Itoh, T., Nagatani, T. Optimal admission time for shifting the audience. *Physica A*. 2002, 313, 695–708.
51. Tajima, Y., Takimoto, K., Nagatani, T. Pattern formation and jamming transition in pedestrian counter flow. *Physica A*. 2002, 313, 709–723.
52. Isobe, M., Adachi, T., Nagatani, T. Experiment and simulation of pedestrian counter flow. *Physica A*. 2004, 336, 638–650.
53. Isobe, M., Helbing, D., Nagatani, T. Experiment, theory and simulation of the evacuation of a room without visibility. *Physical Review E*. 2004, 69, 066132.
54. Nagatani, T. Dynamical transition and scaling in a mean-field model of pedestrian flow at a bottleneck. *Physica A*. 2001, 300, 558–566.
55. Takimoto, K., Tajima, Y., Nagatani, T. Effect of partition line on jamming transition in pedestrian counter flow. *Physica A*. 2002, 308, 460–470.
56. Neumann, J. V. *Theory of self-reproduction automata*. (Ed: Burks, A.W.). University of Illinois Press Champaign, 1970, 3-64.
57. Ermentrout, G. B., Edelstein, L. Cellular automata approaches to biological modeling. *Journal of Theoretical Biology*. 1993, 160, 97-133.

58. Wolfram, S. Cellular Automaton Fluids 1: Basic Theory. *Journal of Statistical Physics*. 1986, 45, 471-526.
59. Matsukidaira, J., Nishinari, K. Euler-lagrange correspondence of cellular automaton for traffic-flow models. *Physical Review Letters*. 2003, 90(8), 088701.
60. Lee, H. K., Barlovic, R., Schreckenberg, M., Kim, D. Mechanical restriction versus human overreaction triggering congested traffic states. *Physical Review Letters*. 2004, 92(23), 238702.
61. Maniccam, S. Effect of back step and update rule on congestion of mobile objects. *Physica A*. 2005, 346, 631.
62. Weng, W. G., Chen, T., Yuan, H. Y., Fan, W. C. Cellular automaton simulation of pedestrian counter flow with different walk velocities. *Physical Review E*. 2006, 74, 036102.
63. Burstedde, C., Klauck, K., Schadschneider, A., Zittartz, J. Simulation of pedestrian dynamics using a two-dimensional cellular automaton. *Physica A*. 2001, 295 (3-4), 507-525.
64. Yang, L. Z., Fang, W. F., Huang, R., Deng, Z. H. Occupant evacuation model based on cellular automata in fire. *Chinese Sci. Bull.* 2002, 47 (17), 1484-1488.
65. Yang, L. Z., Zhao, D. L., Li, J., Fang, W. F., Fan, W. C. Simulation of evacuation behaviours in fire using special grid. *Progress in Natural Science*. 2004, 14 (17), 614-618.
66. Yuan, W. F., Tan, K. H. A novel algorithm of simulating multi-velocity evacuation based on cellular automata modeling and tenability condition. *Physica A*. 2007, 379, 250-262.
67. Zhou, S. Q., Meng, J. X., Liu, Z. Implementation of occupant evacuation simulation system in large buildings. *Computer Simulation*. 2009, 06, 191-194.
68. Huang, H. J., Guo, R. Y. Static floor field and exit choice for pedestrian evacuation in rooms with internal obstacles and multiple exists. *Physical Review E*. 2008, 78, 021131.
69. Yanagisawa, D., Kimura, A., Tomoeda, A., Nishi, R., Suma, Y., Ohtsuka, K., Nishinari, K. Introduction of frictional and turning function for pedestrian outflow with an obstacle. *Physical Review E*. 2009, 80, 036110.
70. Nishinari, K., Kirchner, A., Namazi, A., Schadschneider, A. Extended floor field CA model for evacuation Dynamics. *IEICE Transactions on Information and Systems*. 2004, E87D: 726-732.
71. Zhu, Y., Yang, L. Z., Li, J. Cellular automata simulation of occupant evacuation in different rooms. *Fire Safety Science*. 2007, 03, 175-179.
72. Guo, R. Y., Huang, H. J. A modified floor field cellular automata model for pedestrian evacuation simulation. *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*. 2008, 41, 385104.
73. Kirchner, A., Klüpfel, H., Nishinari, K., Schadschneider, A., Schreckenberg, M. Discretization effects and influence of walking speed in cellular automata models for pedestrian Dynamics. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and experiment*. 2004, P10011.
74. Tanimoto, J., Hagishima, A., Tanaka, Y. Study of bottleneck effect at an emergency evacuation exit using cellular automata model, mean field approximation analysis, and game theory. *Physica A*. 2010, 389, 5611-5618.
75. Bizovi, K. E., Leikin, J. D. Smoke inhalation among firefighters. *Occupational Medicine*. 1995, 10 (4), 721-733.

76. Jin, T., Yamada, T. Experimental study of human behaviour in smoke-filled corridors. *Fire Safety Science-Proceedings of the Second International Symposium, Hemisphere. Washington. 1989*, 511-519.
77. Yuan, W. F., Tan, K. H. A novel algorithm of simulating multi-velocity evacuation based on cellular automata modeling and tenability condition. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. 2007*, 379 (1), 250-262.
78. Yuan, W. F., Tan, K. H. Cellular automata model for simulation of effect of guiders and visibility range. *Current Applied Physics. 2009*, 9 (5), 1014-1023.
79. Yuan, W. F., Tan, K. H. A model for simulation of crowd behaviour in the evacuation from a smoke-filled compartment. *Physica A. 2011*, 390, 4210-4218.
80. Bak, P., Tang, C., Wiesenfeld, K. Self-organized criticality: An explanation of the $1/f$ noise. *Physical Review Letters. 1987*, 59, 381-384.
81. Dhar, D., Self-organized critical state of sandpile automaton models. *Physical Review Letters. 1990*, 64, 1613-1616.
82. Goles, E., Kiwi, M. A. Games on line graphes and sand piles. *Theoretical Computer Science. 1993*, 115, 321-349.
83. Goles, E., Morvan, M., Phan, H. D. Sandpiles and order structure of integer partitions. *Discrete Applied Mathematics. 2002*, 117, 51-64.
84. Latapy, M., Mataci, R., Morvan, M., Phan, H. D. Structure of some sand piles model. *Theoretical Computer Science. 2001*, 262, 525-556.
85. Spencer, J. Balancing vectors in the max norm. *Combinatorica. 1986*, 6, 55-65.
86. Zheng, Y., Jia, B., Li, X., Zhu, N. Evacuation dynamics with fire spreading based on cellular automaton. *Physica A. 2011*, 390, 3147-3156.
87. Yang, L. Z., Zhao, D. L., Li, J., Fang, T. Y. Simulation of the kin behavior in building occupant evacuation based on cellular automaton. *Building and Environment. 2005*, 40, 411-415.
88. Ma, J., Lo, S. M., Song, W. G. Cellular automaton modeling approach for optimum ultra high-rise building evacuation design. *Fire Safety Journal. 2012*, 54, 57-66.
89. Shi, J., Ren, A., Chen, C. Agent based evacuation model of large public buildings under fire conditions. *Automaton in Construction. 2009*, 18(3), 338-347.
90. Oven, V. A., Cakici, N. Modelling the evacuation of a high-rise office building in Istanbul. *Fire Safety Journal. 2009*, 44, 1-15.
91. Izquierdo, J., Montalvo, I., Perez, R., Fuertes, V. S. Forecasting pedestrian evacuation times by using swarm intelligence. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. 2009*, 388(7), 1213-1220.
92. Nishinari, K., Sugawara, K., Kazama, T., Schadschneider, A., Chowdhury, D. Modelling of self-driven particles: Foraging ants and pedestrians. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. 2006*, 372(1), 132-141.
93. Zheng, Y., Chen, J., Wei, J., Guo, X. Modeling of pedestrian evacuation based on the particle swarm optimization algorithm. *Physica A. 2012*, 391, 4225-4233.
94. Wilson, E. O. *The Insect Societies*. The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, MA, USA. 1971, 562s.
95. Dorigo, M., di Caro, G., Gambardella, L. M. Ant algorithms for discrete optimization. *Artificial Life. 1999*, 5 (3), 137-172.
96. Bonabeau, E., Dorigo, M., Theraulaz, G. Inspiration for optimization from social insect behavior. *Nature. 2000*, 400, 39-42.
97. Bonabeau, E., Dorigo, M., Theraulaz, G. *Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems*. Oxford University Press, Oxford. 1999, 307s.

98. Krieger, M., Billeter, J. B., Keller, L. Ant-like task allocation and recruitment in cooperative robots. *Nature*. 2000, 406, 992–995.
99. Bonabeau, E., Meyer, C. Swarm intelligence: A whole new way to think about business. *Harvard Business Review* (May). 2001, 107–114.
100. Camazine, S., Deneubourg, J. L., Franks, N. R., Sneyd, J., Theraulaz, G., Bonabeau, E. *Self-organization in Biological Systems*. Princeton University Press, Princeton, NJ, USA. 2001, 560 s.
101. Anderson, C., Theraulaz, G., Deneubourg, J. L. Self-assemblages in insect societies. *Insectes Sociaux*. 2002, 49, 99–110.
102. Mikhailov, A. S., Calenbuhr, V. From Cells to Societies- Models of Complex Coherent Action. Springer, Berlin, (2002), 302 s.
103. Chowdhury, D., Nishinari, K., Schadschneider, A. Self-organized patterns and traffic flow in colonies of organisms: from bacteria and social insects to vertebrates. *Phase Transitions*. 2004, 77, 601-624.
104. Schmittmann, B., Zia, R. K. P. Statistical mechanics of driven diffusive systems. (Ed: Domb, C., Lebowitz, J. L.). Series: Phase Transitions and Critical Phenomena, vol. 17. Academic Press, New York. 1995, 220 s.
105. Schutz, G. Exactly solvable models for many-body systems far from equilibrium. (Ed: Domb, C., Lebowitz, J. L.). In: Phase Transitions and Critical Phenomena, vol. 19, Academic Press, New York. 2000.
106. Burd, M., Ecological consequences of traffic organization in ant societies. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2006, 372 (1), 124–131.
107. Burd, M., Shiwakoti, N., Sarvi, M., Rose, G. Nest architecture and traffic flow: large potential effects from small structural features. *Ecological Entomology*. 2010, 35 (4), 464-468.
108. Holldobler, B., Wilson, O. E. *The Ants*. The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts. 1990, 732 s.
109. Schadschneider, A., Kirchner, A., Nishinari, K. From ant trails to pedestrian dynamics. *Applied Bionics and Biomechanics*, 2003, 1(1), 11-19.
110. Mitchell, M. *Complexity A Guided Tour*. Oxford University Press, New York. 2009, 349 s.
111. Ulam, S. Random process and transformations. *Proceedings - International Congress of Mathematicians*. 1952, 2: 264-275.
112. Chopard, B., Droz, M. *Cellular Automata Modelling of Physical Systems*. Cambridge University Press, Cambridge. 1998, 341 s.
113. Burks, A. W. *Von Neumann's Self-reproducing Automata*. Essays on Cellular Automata. University of Illinois Press. 1970, 3-64.
114. Pesavento, U. An implementation of von Neumann's self-reproducing machine. *Artificial Life*. 1995, 2, 337-354.
115. Codd, E. F. *Cellular Automata*. Academic Press, Inc. Orlando, FL, USA. 1968, 132 s.
116. Langton, C. G. Self-reproduction in cellular automata. *Physica D*. 1984, 10, 135-144.
117. Byl, J. Self-reproduction in small cellular automata. *Physica D*. 1989, 34, 259-299.
118. Gardner, M. The fantastic combinations of John Conway's New Solitaire Game Life. *Scientific American*. 1970, 223(4), 120-123.
119. Preston, K., Duff, M. J. B. *Modern Cellular Automata: Theory and Applications*. Plenum Press London. 1984.

120. Wolfram. S. Theory and application of cellular automata. World Scientific Publishing Co. Ltd. 1986, 485-557.
121. Wolfram, S. Cellular Automata and Complexity. Addison-Wesley, Reading MA, 1994, 608 s.
122. Toffoli, T., Margolus, N. Cellular Automata Machines: A New Environment for Modeling. The MIT Press, 1987, 276 s.
123. Uğur, A., Aydın, D. Ant System Algoritmasının Java ile Görselleştirilmesi. Bilgi Teknolojileri Kongresi IV, Akademik Bilişim, Pamukkale Üniversitesi, Denizli. 2006.
124. Dorigo, M. Optimization, Learning and Natural Algorithms, Ph. D. thesis, Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Milano, Milan, Italy. 1992.
125. Schadschneider, A., Chowdhury, D., Nishinari K. Stochastic Transport in Complex Systems: From Molecules to Vehicles. Elsevier, Amsterdam. 2011, 557s.
126. Erdem A. Fortran. Kocaeli Üniversitesi Matematik Bölümü Ders Notları. 2011.
127. Türk Çakır İ. Gnuplot Çizim Programı. SANAEM-TAEK-HPFBO- Çukurova Üniversitesi. 2015.
128. Bak, P. How Nature Works: The Science of Self-Organised Criticality. Springer, New York, USA, 1996, 212 s.
129. Kerner B.S. The Physics of Traffic: Empirical Freeway Pattern Features, Engineering Applications, and Theory. Springer Science & Business Media, New York, 2004, 682 s.
130. Kerner B. S. Introduction to Modern Traffic Flow Theory and Control. Springer Science & Business Media, New York, 2009, 265 s.

EKLER

EK A. Manhattan Metoduyla Hesaplanan Statik Zemin Alanı Değeri (Altı Birim Uzunluğunda Engelin Var Olduğu Durum)

									1	1									
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	11	10	9	8	7	6							6	7	8	9	10	11	
	12	11	10	9	8	7	8	9	10	10	9	8	7	8	9	10	11	12	
	13	12	11	10	9	8	9	10	11	11	10	9	8	9	10	11	12	13	
	14	13	12	11	10	9	10	11	12	12	11	10	9	10	11	12	13	14	
	15	14	13	12	11	10	11	12	13	13	12	11	10	11	12	13	14	15	
	16	15	14	13	12	11	12	13	14	14	13	12	11	12	13	14	15	16	
	17	16	15	14	13	12	13	14	15	15	14	13	12	13	14	15	16	17	
	18	17	16	15	14	13	14	15	16	16	15	14	13	14	15	16	17	18	
	19	18	17	16	15	14	15	16	17	17	16	15	14	15	16	17	18	19	
	20	19	18	17	16	15	16	17	18	18	17	16	15	16	17	18	19	20	
	21	20	19	18	17	16	17	18	19	19	18	17	16	17	18	19	20	21	
	22	21	20	19	18	17	18	19	20	20	19	18	17	18	19	20	21	22	
	23	22	21	20	19	18	19	20	21	21	20	19	18	19	20	21	22	23	
	24	23	22	21	20	19	20	21	22	22	21	20	19	20	21	22	23	24	
	25	24	23	22	21	20	21	22	23	23	22	21	20	21	22	23	24	25	
	26	25	24	23	22	21	22	23	24	24	23	22	21	22	23	24	25	26	
	27	26	25	24	23	22	23	24	25	25	24	23	22	23	24	25	26	27	

EK B. Manhattan Metoduyla Hesaplanan Statik Zemin Alanı Değeri (Sekiz Birim Uzunluğunda Engelin Var Olduğu Durum)

									1	1									
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	11	10	9	8	7									7	8	9	10	11	
	12	11	10	9	8	9	10	11	12	12	11	10	9	8	9	10	11	12	
	13	12	11	10	9	10	11	12	13	13	12	11	10	9	10	11	12	13	
	14	13	12	11	10	11	12	13	14	14	13	12	11	10	11	12	13	14	
	15	14	13	12	11	12	13	14	15	15	14	13	12	11	12	13	14	15	
	16	15	14	13	12	13	14	15	16	16	15	14	13	12	13	14	15	16	
	17	16	15	14	13	14	15	16	17	17	16	15	14	13	14	15	16	17	
	18	17	16	15	14	15	16	17	18	18	17	16	15	14	15	16	17	18	
	19	18	17	16	15	16	17	18	19	19	18	17	16	15	16	17	18	19	
	20	19	18	17	16	17	18	19	20	20	19	18	17	16	17	18	19	20	
	21	20	19	18	17	18	19	20	21	21	20	19	18	17	18	19	20	21	
	22	21	20	19	18	19	20	21	22	22	21	20	19	18	19	20	21	22	
	23	22	21	20	19	20	21	22	23	23	22	21	20	19	20	21	22	23	
	24	23	22	21	20	21	22	23	24	24	23	22	21	20	21	22	23	24	
	25	24	23	22	21	22	23	24	25	25	24	23	22	21	22	23	24	25	
	26	25	24	23	22	23	24	25	26	26	25	24	23	22	23	24	25	26	
	27	26	25	24	23	24	25	26	27	27	26	25	24	23	24	25	26	27	

EK C. Manhattan Metoduyla Hesaplanan Statik Zemin Alanı Değeri (On Birim Uzunluğunda Engelin Var Olduğu Durum)

								1	1									
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	10	9	8											8	9	10	11
	12	11	10	9	10	11	12	13	14	14	13	12	11	10	9	10	11	12
	13	12	11	10	11	12	13	14	15	15	14	13	12	11	10	11	12	13
	14	13	12	11	12	13	14	15	16	16	15	14	13	12	11	12	13	14
	15	14	13	12	13	14	15	16	17	17	16	15	14	13	12	13	14	15
	16	15	14	13	14	15	16	17	18	18	17	16	15	14	13	14	15	16
	17	16	15	14	15	16	17	18	19	19	18	17	16	15	14	15	16	17
	18	17	16	15	16	17	18	19	20	20	19	18	17	16	15	16	17	18
	19	18	17	16	17	18	19	20	21	21	20	19	18	17	16	17	18	19
	20	19	18	17	18	19	20	21	22	22	21	20	19	18	17	18	19	20
	21	20	19	18	19	20	21	22	23	23	22	21	20	19	18	19	20	21
	22	21	20	19	20	21	22	23	24	24	23	22	21	20	19	20	21	22
	23	22	21	20	21	22	23	24	25	25	24	23	22	21	20	21	22	23
	24	23	22	21	22	23	24	25	26	26	25	24	23	22	21	22	23	24
	25	24	23	22	23	24	25	26	27	27	26	25	24	23	22	23	24	25
	26	25	24	23	24	25	26	27	28	28	27	26	25	24	23	24	25	26
	27	26	25	24	25	26	27	28	29	29	28	27	26	25	24	25	26	27

EK D. Manhattan Metoduyla Hesaplanan Statik Zemin Alanı Değeri (On İki Birim Uzunluğunda Engelin Var Olduğu Durum)

									1	1									
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	11	10	9													9	10	11	
	12	11	10	11	12	13	14	15	16	16	15	14	13	12	11	10	11	12	
	13	12	11	12	13	14	15	16	17	17	16	15	14	13	12	11	12	13	
	14	13	12	13	14	15	16	17	18	18	17	16	15	14	13	12	13	14	
	15	14	13	14	15	16	17	18	19	19	18	17	16	15	14	13	14	15	
	16	15	14	15	16	17	18	19	20	20	19	18	17	16	15	14	15	16	
	17	16	15	16	17	18	19	20	21	21	20	19	18	17	16	15	16	17	
	18	17	16	17	18	19	20	21	22	22	21	20	19	18	17	16	17	18	
	19	18	17	18	19	20	21	22	23	23	22	21	20	19	18	17	18	19	
	20	19	18	19	20	21	22	23	24	24	23	22	21	20	19	18	19	20	
	21	20	19	20	21	22	23	24	25	25	24	23	22	21	20	19	20	21	
	22	21	20	21	22	23	24	25	26	26	25	24	23	22	21	20	21	22	
	23	22	21	22	23	24	25	26	27	27	26	25	24	23	22	21	22	23	
	24	23	22	23	24	25	26	27	28	28	27	26	25	24	23	22	23	24	
	25	24	23	24	25	26	27	28	29	29	28	27	26	25	24	23	24	25	
	26	25	24	25	26	27	28	29	30	30	29	28	27	26	25	24	25	26	
	27	26	25	26	27	28	29	30	31	31	30	29	28	27	26	25	26	27	

EK E. Manhattan Metoduyla Hesaplanan Statik Zemin Alanı Değeri (Engel-Kapı Mesafesinin İki Birim Hücre Olduğu Durum)

									1	1									
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	11	10	9	8	7	6	5	4	3	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	12	11	10	9	8									8	9	10	11	12	
	13	12	11	10	9	10	11	12	13	13	12	11	10	9	10	11	12	13	
	14	13	12	11	10	11	12	13	14	14	13	12	11	10	11	12	13	14	
	15	14	13	12	11	12	13	14	15	15	14	13	12	11	12	13	14	15	
	16	15	14	13	12	13	14	15	16	16	15	14	13	12	13	14	15	16	
	17	16	15	14	13	14	15	16	17	17	16	15	14	13	14	15	16	17	
	18	17	16	15	14	15	16	17	18	18	17	16	15	14	15	16	17	18	
	19	18	17	16	15	16	17	18	19	19	18	17	16	15	16	17	18	19	
	20	19	18	17	16	17	18	19	20	20	19	18	17	16	17	18	19	20	
	21	20	19	18	17	18	19	20	21	21	20	19	18	17	18	19	20	21	
	22	21	20	19	18	19	20	21	22	22	21	20	19	18	19	20	21	22	
	23	22	21	20	19	20	21	22	23	23	22	21	20	19	20	21	22	23	
	24	23	22	21	20	21	22	23	24	24	23	22	21	20	21	22	23	24	
	25	24	23	22	21	22	23	24	25	25	24	23	22	21	22	23	24	25	
	26	25	24	23	22	23	24	25	26	26	25	24	23	22	23	24	25	26	
	27	26	25	24	23	24	25	26	27	27	26	25	24	23	24	25	26	27	

EK F. Manhattan Metoduyla Hesaplanan Statik Zemin Alanı Değeri (Engel-Kapı Mesafesinin Üç Birim Hücre Olduğu Durum)

									1	1									
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	11	10	9	8	7	6	5	4	3	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	12	11	10	9	8	7	6	5	4	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	13	12	11	10	9									9	10	11	12	13	
	14	13	12	11	10	11	12	13	14	14	13	12	11	10	11	12	13	14	
	15	14	13	12	11	12	13	14	15	15	14	13	12	11	12	13	14	15	
	16	15	14	13	12	13	14	15	16	16	15	14	13	12	13	14	15	16	
	17	16	15	14	13	14	15	16	17	17	16	15	14	13	14	15	16	17	
	18	17	16	15	14	15	16	17	18	18	17	16	15	14	15	16	17	18	
	19	18	17	16	15	16	17	18	19	19	18	17	16	15	16	17	18	19	
	20	19	18	17	16	17	18	19	20	20	19	18	17	16	17	18	19	20	
	21	20	19	18	17	18	19	20	21	21	20	19	18	17	18	19	20	21	
	22	21	20	19	18	19	20	21	22	22	21	20	19	18	19	20	21	22	
	23	22	21	20	19	20	21	22	23	23	22	21	20	19	20	21	22	23	
	24	23	22	21	20	21	22	23	24	24	23	22	21	20	21	22	23	24	
	25	24	23	22	21	22	23	24	25	25	24	23	22	21	22	23	24	25	
	26	25	24	23	22	23	24	25	26	26	25	24	23	22	23	24	25	26	
	27	26	25	24	23	24	25	26	27	27	26	25	24	23	24	25	26	27	

EK G. Manhattan Metoduyla Hesaplanan Statik Zemin Alanı Değeri (Engel-Kapı Mesafesinin Dört Birim Hücre Olduğu Durum)

									1	1									
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	11	10	9	8	7	6	5	4	3	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	12	11	10	9	8	7	6	5	4	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	13	12	11	10	9	8	7	6	5	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
	14	13	12	11	10									10	11	12	13	14	
	15	14	13	12	11	12	13	14	15	15	14	13	12	11	12	13	14	15	
	16	15	14	13	12	13	14	15	16	16	15	14	13	12	13	14	15	16	
	17	16	15	14	13	14	15	16	17	17	16	15	14	13	14	15	16	17	
	18	17	16	15	14	15	16	17	18	18	17	16	15	14	15	16	17	18	
	19	18	17	16	15	16	17	18	19	19	18	17	16	15	16	17	18	19	
	20	19	18	17	16	17	18	19	20	20	19	18	17	16	17	18	19	20	
	21	20	19	18	17	18	19	20	21	21	20	19	18	17	18	19	20	21	
	22	21	20	19	18	19	20	21	22	22	21	20	19	18	19	20	21	22	
	23	22	21	20	19	20	21	22	23	23	22	21	20	19	20	21	22	23	
	24	23	22	21	20	21	22	23	24	24	23	22	21	20	21	22	23	24	
	25	24	23	22	21	22	23	24	25	25	24	23	22	21	22	23	24	25	
	26	25	24	23	22	23	24	25	26	26	25	24	23	22	23	24	25	26	
	27	26	25	24	23	24	25	26	27	27	26	25	24	23	24	25	26	27	

EK H. Manhattan Metoduyla Hesaplanan Statik Zemin Alanı Değeri (Asimetrik Bir Engelin Var Olduğu Durum)

[illegible]

EK I. Manhattan Metoduyla Hesaplanan Statik Zemin Alanı Değeri (Simetrik Bir Engelin Var Olduğu Durum)

[illegible]

EK K. Manhattan Metoduyla Hesaplanan Statik Zemin Alanı Değeri (Engelin Olmadığı Durum)

									1	1										
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
	11	10	9	8	7	6	5	4	3	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
	12	11	10	9	8	7	6	5	4	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
	13	12	11	10	9	8	7	6	5	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
	14	13	12	11	10	9	8	7	6	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
	16	15	14	13	12	11	10	9	8	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
	17	16	15	14	13	12	11	10	9	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
	18	17	16	15	14	13	12	11	10	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
	19	18	17	16	15	14	13	12	11	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
	20	19	18	17	16	15	14	13	12	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
	21	20	19	18	17	16	15	14	13	13	14	15	16	17	18	19	20	21		
	22	21	20	19	18	17	16	15	14	14	15	16	17	18	19	20	21	22		
	23	22	21	20	19	18	17	16	15	15	16	17	18	19	20	21	22	23		
	24	23	22	21	20	19	18	17	16	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
	25	24	23	22	21	20	19	18	17	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
	26	25	24	23	22	21	20	19	18	18	19	20	21	22	23	24	25	26		
	27	26	25	24	23	22	21	20	19	19	20	21	22	23	24	25	26	27		

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Sibel GÖKÇE
Doğum Yeri ve Yılı : Malatya, 1985
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : sibel.gokce@cbu.edu.tr

Eğitim Durumu

Lise : Dündar Çiloğlu Anadolu Lisesi, 2003
Lisans : Ankara Üniversitesi, Fizik Mühendisliği Bölümü, 2009
Yüksek Lisans : Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012

Mesleki Deneyim

Manisa Celal Bayar Üniversitesi / FEF / Fizik Bölümü 2011- (halen)

Yayınları

1. Gokce, S., Kayacan, O. A cellular automata model for ant trails. Pramana: Journal of Physics. 2013, 80 909, (909-915).
2. Gokce, S., Kayacan, O. Study on bi-directional pedestrian movement using ant algorithms. Chinese Physics B. 2016, 25 010508.